

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет**  
(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра автоматизації експериментальних досліджень**  
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК \_\_ 681.5 \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Ю.М. Туз  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно вимірювальна техніка» \_\_\_\_\_  
(код і назва)

на тему: «Статистичне оцінювання розладнання технологічного процесу» \_\_\_\_\_

Виконав: студент \_VI\_ курсу, групи ВА-81мп \_\_\_\_\_  
(шифр групи)

Антіфєєв Тимофій Ілліч \_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові) \_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник професор, д.т.н., Володарський Є.Т. \_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант

«Аналіз та розробка стартап проекту», доцент, д.е.н., Бояринова К.О. \_\_\_\_\_ (назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) \_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_ (підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Приладобудівний факультет  
(повна назва)

Кафедра автоматизації експериментальних досліджень  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ю.М. Туз

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
Антіфєєву Тимофію Іллічу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Статистичне оцінювання розладнання технологічного процесу

\_\_\_\_\_,  
науковий керівник дисертації Володарський Євген Тимофійович,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07»\_11\_\_\_\_\_ 2019 р. № 3848-с

2. Термін подання студентом дисертації 10 грудня 2019

3. Об'єкт дослідження Процес статистичного оцінювання розладнання технологічних процесів

4. Предмет дослідження Методи статистичного оцінювання розладнання технологічного процесу

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Огляд існуючих рішень. 2. Огляд запропонованого рішення. 3. Обґрунтування та експериментальні дані. 4. Огляд економічної доцільності (розробка стартап проекту). 5. Висновки.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

7. Орієнтовний перелік публікацій

“Статистичне оцінювання розкладання технологічного процесу” Антіфєєв Т.І.,  
д.т.н.ВолодарськийЄ.Т.

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Бояринова К. О. доцент		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз джерел інформації	05.09.19	
2	Ознайомлення з відомими рішеннями	16.09.19	
3	Проведення експериментів	13.10.19	
4	Висунення гіпотези	15.10.19	
5	Підготовка та оформлення пояснювальної записки	07.11.19	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
Антіфєєв Т.І.  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
Володарський Є.Т.  
(ініціали, прізвище)

\_\_\_\_\_  
\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

## РЕФЕРАТ

**Магістерська дисертація на тему:** «Статистичне оцінювання розладнання технологічного процесу», 70 сторінок, 00 додатків, 00 джерел.

**Об'єкт дослідження:** Процес статистичного оцінювання розладнання технологічного процесу.

**Предмет дослідження:** : Методи статистичного оцінювання розладнання технологічного процесу.

**Мета роботи:** Аналіз, дослідження та створення алгоритму статистичного розладнання технологічного процесу.

**Методи дослідження та апаратура:** Робота з інформаційними джерелами та літературою. Експериментальне дослідження.

**Результати роботи та їхня новизна:** результатом роботи є дослідження методу (алгоритму) статистичного оцінювання розладнання технологічного процесу, його переваги серед інших відомих методів оцінювання (контрольні карти Шухарта, ковзне середнє). Дослідження шляхів впровадження такого алгоритму, як окремого, так і в якості складової більшої системи (адаптивний алгоритм).

**Рекомендації щодо використання результатів роботи:** Описані підходи до впровадження методу статистичного оцінювання розладнання технологічного процесу на виробничих підприємствах, або для науково-дослідницьких лабораторій.

СТАТИСТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ РОЗЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.

## **ABSTRACT**

**Master's thesis:** «Statistical evaluation of technological process discharge»

**The object of study:** Process of statistical evaluation of technological process discharge.

**Subject of research:** Methods of statistical evaluation of technological process discharge.

**Objective:** Analysis, research and creation of algorithm of statistical discharge of technological process.

**Methods and apparatus:** Work with information sources and literature. Experimental study.

**The results and their novelty:** the result of the study is a studying of the method (algorithm) for statistical evaluation of technological process discharge, its advantages among other known estimation methods (Schuhart control charts, moving average). Investigation of ways to implement such an algorithm, both individually and as part of a larger system (adaptive algorithm).

**Recommendations for the use of work:** Approaches to the implementation of the method of statistical evaluation of technological process discharge in manufacturing enterprises or for research laboratories are described.

STATISTICAL EVALUATION OF TECHNOLOGICAL PROCESS DISCHARGE.

# ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....</b>	<b>8</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>9</b>
<b>1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....</b>	<b>11</b>
1.1. Середнє значення.....	11
1.2. СКВ середнього .....	14
1.3. Карти Шухарта.....	16
1.4. Карти з пам'яттю .....	19
1.5. Висновки.....	21
<b>2 ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ НАКОПИЧУВАЛЬНИХ СУМ. ЗАСТОСУВАННЯ .....</b>	<b>22</b>
2.1. Загальне поняття кумулятивних карт.....	22
2.2. Передумови побудови CUSUM-карт.....	23
2.3. Правила прийняття рішень при використанні кумулятивних карт. Прийняття рішень за допомогою V-маски. ....	27
2.4. Висновки .....	30
<b>3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПУ РОБОТИ АЛГОРИТМУ СТАТИСТИЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ РОЗЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....</b>	<b>31</b>
3.1. Загальні положення .....	31
3.2. Безпосередньо аналіз.....	35
3.3. Побудова карт Шухарта.....	36
3.4. Використання алгоритму CUSUM-карт .....	38
3.5. Висновки.....	44
<b>4 АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «UNICONTROL».....</b>	<b>45</b>
4.1. Опис ідеї статистичного оцінювання розладнання технологічного процесу 45	
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту .....	48
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту. ....	49
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	55
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	58
4.6. Висновки .....	61
<b>5 ВИСНОВКИ .....</b>	<b>63</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>65</b>

<b>ДОДАТОК А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ .....</b>	<b>67</b>
-------------------------------------------	-----------

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

Середньоквадратичне відхилення – СКВ

Центральна лінія – ЦЛ

Еталонний процес – ЕП

Верхня контрольна межа – ВКМ

Нижня контрольна межа – НКМ

CUSUM-карта – карта кумулятивних сум



## ВСТУП

Щодня, щогодини, навіть, щосекунди в світі людство виробляє товари, продукцію, надає послуги. Виробництвом займаються всюди. Все, чим користуються люди, було колись виготовлено. У давні часи виготовлення речей займало багато часу та було дуже кропітким завданням. Проте, починаючи з далекого 1620 року, коли було створено найперший механізм керування зі зворотнім зв'язком – термостат, винайдений голландським ученим Корнеліусом Дреббелем, людство почало свій довгий шлях до автоматизації. Протягом майже трьохсот років, протягом яких створювалися автоматичні механізми які забезпечували покращення та полегшення життя людям. З початком індустріального перевороту, після введення у 1913 році Генрі Фордом безперервної лінії по збірці автомобілів, конвеєрна лінія стала відправною точкою у розвитку масового виробництва. І сьогодні, як результат, ми маємо можливість виробляти продукцію майже автоматично, без зайвого втручання людей.

Загалом, слово технологія у перекладі з грецької, означає наука про виробництво. Тобто, технологія – це наука, що вивчає способи і процеси виробництва сировини, або переробки сировини на предмети споживання і засоби іншого виробництва для людини. За сучасних умов технологізація виробничої діяльності стрімко зростає, рівним чином як і саме поняття технології зазнає суттєвих змін[1].

Технологічний процес — частина виробничого процесу, сукупність технологічних операцій, які виконуються планомірно й послідовно в часі й просторі над однорідними або аналогічними предметами, у результаті яких змінюється агрегатний стан, місце розташування чи властивості предмета праці (напр., гірської породи), що має закінчений за виробничим призначенням характер. Розрізняють основні і допоміжні процеси. Процес допоміжний – процес, що має самостійний характер і необхідний для успішного виконання основних технологічних процесів та сприяти їх здійсненню[2].

Постає логічне питання, як дізнатися, що продукція виготовлена правильно, працює як необхідно, безпечна для людей чи оточуючого середовища. Для цього явища існує поняття якості.

Якість – сукупність характеристик чи властивостей продукції, які зумовлюють її можливість задовольнити потреби відповідно до призначення. Висока якість продукції забезпечується строгим дотриманням норм технологічного процесу, правильною організацією контролю. Технічний контроль, який в першу чергу спрямований на попередження розладу виробничого процесу і виникнення відхилень, сприяє профілактиці відбракування, його виявленню на ранніх стадіях розладнання і оперативному усуненню з найменшими витратами. Це напряду сприяє підвищенню ефективності підприємства, та якості продукції, яку воно випускає. Призначення лише кінцевого контролю на сьогоднішній день є недоцільним, адже будь-яке підприємство має за ціль максимальне скорочення витрат на виробництво, а отже, контроль необхідно впроваджувати і на проміжних етапах виготовлення продукції. Чим раніше ми зможемо виявити відхилення від заданих вимог, тим швидше можна попередити випуск продукції незадовільної якості[3, 4].

Основною метою даної роботи є розкриття роботи алгоритму оцінювання розладнання технологічного процесу, заснованого на картах кумулятивних сум, який може працювати більш ефективно у порівнянні з існуючими методами, а також експериментальне підтвердження цього.

## 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

### 1.1. Середнє значення

Якщо об'єкт або явище за своєю природою може надавати велику кількість інформації, Будь то електричний сигнал або кількісний середні значення може використовуватися для розрахунку темпів зростання чи приросту для характеристики зміни явища чи предмету в часі. У будь-якому випадку, коли виникає потреба охарактеризувати 1 числом сукупність значення ознаки, яка змінюється, користується його середнім значенням.

Середні значення або середнє арифметичне, Як у математиці так і в статистиці, Означає майже те саме. Це сума всіх значень набору поділена на кількість елементів набору. Частковими випадками середнього арифметичного є середні генеральної сукупності і вибіркове середнє. Вибіркове середнє це характеристика певного вибіркового розподілу, в даному випадку вибіркове середнє називається середнє арифметичне вибірки. Основна формула, вона одна, і відома:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{n} (x_1 + \dots + x_n) \quad (1)$$

Абсолютною перевагою користування середнього значення є те що воно показує тенденцію зміни певний характеристики чи властивості предмета.

Одним з головних недоліків середнього значення є те що промахи або значні зміни у протікання процесу відповідно значною мірою змінюється і середнє значення. Також, для отримання середнього значення, яке буде максимально наближене до математичного сподівання або абсолютного значення величини, необхідна велика вибірка значень цієї величини.

У випадку використання цього методу на невеликих підприємствах, велика вірогідність того, що він проявить себе як найменш ефективний з методів оцінювання роз ладнання технологічного процесу. Чутливість середнього значення при невеликій вибірці є значно більшою, аніж за наявності великої кількості результатів.



29	20	36	27	41	34	22	24	15	9	16	31
42	25	45	47	36	7	27	33	18	44	16	36
11	30	9	12	31	36	48	38	2	45	13	14
7	22	22	39	34	38	41	48	4	7	8	25
40	8	35	2	25	12	5	32	24	42	22	41
30	45	46	8								

Та знайдемо середнє значення кожного масиву:

Масив А = 25.43

Масив Б = 27.4

Додавши лише 1 елемент масиву у тих самих межах, визначимо нові середні значення:

Масив А = 25.67

Масив Б = 28.4

Якщо порівняти ці два значення, то буде зрозуміло, що масив середнє масиву А змінилося на  $\sim 1\%$ , в той час як середнє масиву Б на  $\sim 3.5\%$ . Що відображено на рисунках 1.2. та 1.3.

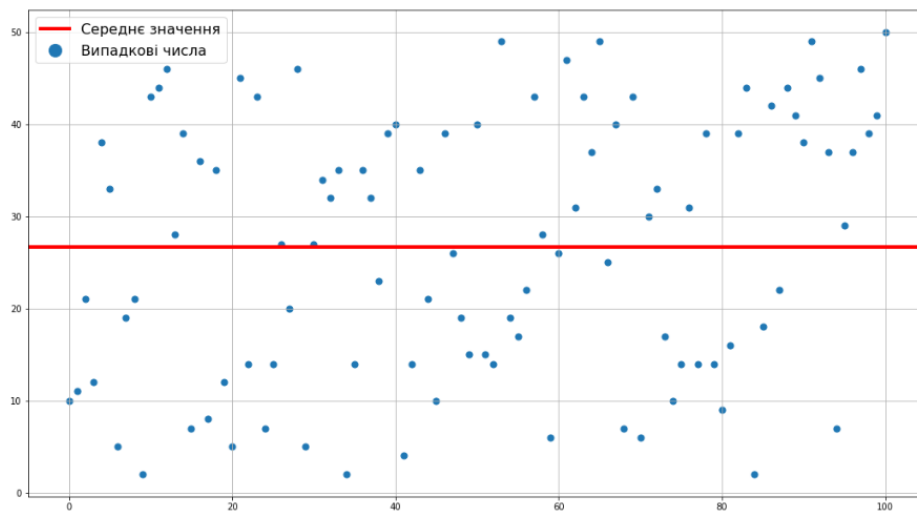


Рис.1.1. Середнє значення (червона лінія) масиву А

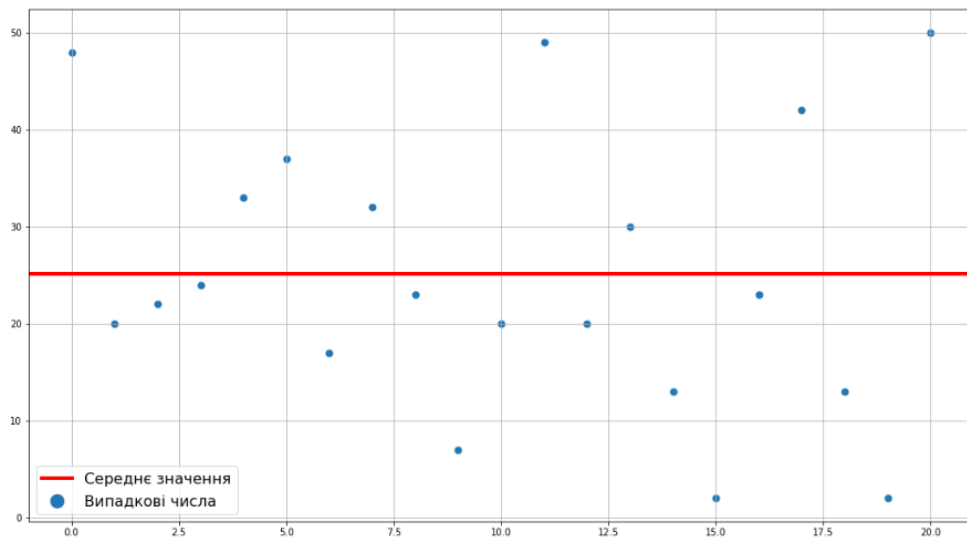


Рис.1.2. Середнє значення (червона лінія) масиву Б

Як наслідок, в залежності від того, якість оцінки напряму залежить від величини вибірки, що в нашому випадку робить цей метод непридатним, адже основною задачею системи статистичного оцінювання розладнання є виявлення розладнання на ранніх стадіях. Наступним кроком, після середнього значення, було вирішено розглянути середньоквадратичне відхилення середнього значення.

## 1.2. СКВ середнього

Середнє квадратичне відхилення так само, як і середнє лінійне відхилення, показує, на скільки в середньому відхиляються конкретні значення ознаки від середнього їх значення. Середнє квадратичне відхилення завжди більше середнього лінійного відхилення. Мале значення стандартного відхилення вказує, що дані точок скупчені ближче до середнього значення (математичного сподівання) вибірки, в той час як великі значення стандартного відхилення вказують, що точки розподілені в більш широкому діапазоні значень[6].

Крім того, що стандартне відхилення характеризує мінливість вибірки, воно зазвичай використовується як міра достовірності статистичних висновків. Наприклад, межа похибки для даних опитування визначається за допомогою розрахунку очікуваного стандартного відхилення в результатах за умови, якби те саме опитування було проведене декілька разів. Таке виведення стандартного відхилення часто називають «стандартною похибкою»

оцінювання або «стандартною похибкою середнього», якщо мова йде про середнє. Вона визначає стандартне відхилення усіх середніх значень, отримані для даної генеральної сукупності на основі вибірки[6].

Є дві формули для обчислення СКВ, для:

- Некорегованого СКВ для вибірки
- Корегованого СКВ

Формулу для стандартного відхилення сукупності можливо застосувати до вибірки, використавши як розмір вибірки, розмір даної вибірки (хоча фактичний розмір сукупності для якої було отримано вибірки є набагато більшим). Ця оцінка відома як некореговане вибіркове стандартне відхилення, або стандартне відхилення вибірки, визначається так:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

При невеликій вибірці ( $n \leq 50$ ) вводиться поправка Бесселя, і тоді формула виглядатиме наступним чином:

$$s = \sqrt{\frac{n}{n-1} \cdot \sigma^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

де,  $s$  – стандартне відхилення

$\sigma^2$  – дисперсія

$x_i$  – елемент вибірки

$\bar{x}$  – середнє значення всієї вибірки, причому

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4)$$

$n$  – розмір вибірки

Вибірка — лише частина генеральної сукупності. Генеральна сукупність — абсолютно всі можливі результати. Отримати результат, що не входить в генеральну сукупність — неможливо. Для генеральної сукупності математичне очікування збігається зі справжнім значенням оцінюваного параметра. А для вибірки — необов'язково. Математичне очікування вибірки має зміщення щодо дійсного значення параметра. Через це середньоквадратична помилка більша

ніж дисперсія, оскільки дисперсія — математичне очікування квадрата відхилення від середнього значення, а середньоквадратичне відхилення — математичне очікування відхилення від справжнього значення. Різниця в тому, від чого шукаємо відхилення: коли дисперсія, то від середнього (і не важливо достеменно це середнє чи помилкове), а коли середньоквадратичне відхилення, то це відхилення від справжнього середнього значення[7].

Загальний висновок до підходу оцінювання розладнання технологічного процесу схожий з середнім значенням, а саме: як і для середнього, необхідно мати великий масив даних. Є недостатньо чутливим до змін у процесі.

### 1.3. Карти Шухарта

Контрольна карта — графік зміни параметрів вибірки, середнього значення і стандартного відхилення. Один з семи основних інструментів вимірювання, оцінювання, контролю або покращення якості виробничих процесів, що входять до «родини інструментів контролю якості».

Розрізняють контрольну карту для кількісних і якісних ознак. Мета побудови контрольної карти — виявлення точок виходу процесу із стійкого стану для подальшого встановлення причин відхилення і його усунення.

Завдання побудови КК:

- визначити можливості процесу
- визначити точки флуктуації
- спрогнозувати якість процесу.

Параметр вихідного процесу завжди має мінливість внаслідок дії різних факторів, які є випадковими (малих короткочасних відхилень входів і внутрішніх параметрів). Чинників слабких (малих) шумів зазвичай багато, і тому вони частково компенсують один одного. Внаслідок цього в стійкому стані виходи процесу лежать в певному коридорі. Вірогідність виходу параметра за межі коридору під дією лише випадковостей мала.

Якщо довести вплив окремого чинника шумів на відхилення виходу з необхідною вірогідністю не можливо, то цей чинник називають незначущим[8].



Для карти Шухарта потрібні вибіркові дані процесу, одержані через приблизно рівні інтервали. Вони можуть бути задані як за часом, так і за кількістю продукції. Як правило, кожна підгрупа складається з однотипних одиниць продукції чи послуг з тими самими контрольованими показниками і всі підгрупи мають рівний обсяг. Для кожної підгрупи призначають одну чи кілька характеристик, таких як середнє арифметичне групи  $\bar{X}$  та розмах групи  $R$  або вибіркове стандартне відхилення  $S$ [8].

Карта Шухарта – це графік значень знайдених характеристик підгруп залежно від їх номерів. Карта має центральну лінію (ЦЛ), що відповідає еталонному значенню характеристики. Під час оцінювання того, чи знаходиться процес у статистично керованому стані, еталонним зазвичай служить середнє арифметичне значення розглянутих значень. Під час керування еталонним процесом (ЕП) служить довгострокове значення характеристики, визначене технічними умовами, або її номінальне значення, що базується на попередній інформації про процес, або ж намічене цільове значення продукції. Карта Шухарта має дві контрольні межі, які визначаються статистично, відносно центральної лінії, які називаються: верхня контрольна межа (ВКМ) і нижня контрольна межа (НКМ), зображені на рис.1.

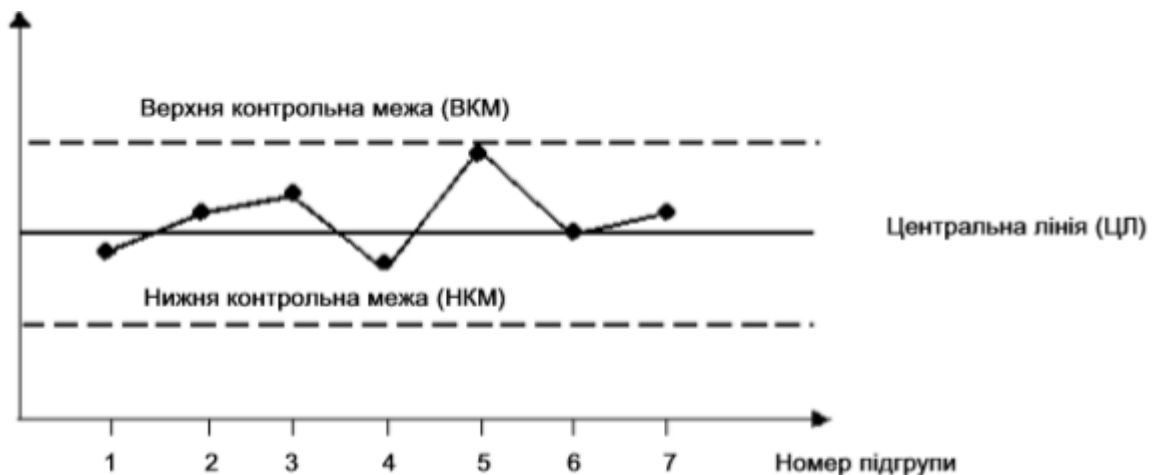


Рис.1.3. Контрольна карта Шухарта

Контрольні межі на карті Шухарта знаходяться на відстані  $3\sigma$  (трьох сігма) від центральної лінії, де  $\sigma$  – центральне стандартне відхилення. Зміна всередині

підгрупи є мірою випадковості. Для одержання оцінки  $\sigma$  обчислюють вибіркове стандартне відхилення чи множать вибірковий розмах на відповідний коефіцієнт. Ця міра не охоплює коливання між групами, а лише між елементами всередині однієї групи. Межі  $3\sigma$  вказують на те, що близько 99,7% значень характеристик підгруп потраплять у ці межі за умови, що процес знаходиться в статистично керованому режимі (не є розладнаним). Простіше кажучи, є ризик, в 0,3%, або, в середньому, три на тисячу випадків, що нанесена точка виявиться за контрольними межами, коли процес знаходиться в статистично керованому режимі[9].

Цікаво, що деякі спеціалісти віддають перевагу множнику 3,09 замість 3, щоб забезпечити номінальне значення ймовірності 0,2% (у середньому два спостереження на тисячу), але Шухарт обрав число 3, щоб не давати підстав до розгляду точних ймовірностей. Ймовірність того, що порушення меж – це дійсно випадкова подія, а не реальний сигнал, вважається настільки малою, що з появою точки поза межами, треба вжити певних заходів. Так як їх потрібно вживати вже на цьому етапі, тому такий етап називають «етапом дій».

Часто на контрольній карті проводять межі і на відстані в  $2\sigma$  (два сігма). Тоді будь-яке вибіркове значення, що попадає за межі двох сігм, може служити застережливим сигналом, про те, що процес може вийти зі стану статистичної керованості. Саме тому появу події на етапі двох сігм називають «попереджувальним етапом».

Варто зауважити, що система карт Шухарта враховує тільки помилки першого роду, рівні 0,3% в межах трьох сігм. Помилка першого роду – такий тип помилок, коли процес знаходиться в статистично керованому режимі, а точка вискакує за контрольні межі випадково. Тоді можна вирішити, що процес вийшов зі стану статистичної керованості, хоча це не так. Як наслідок – намагання усунути неіснуючу проблему. Помилка другого роду – ще один тип помилок, коли процес некерований, а точки випадково виявляються всередині контрольних меж. Наслідком є висновок про те, що процес керований і упускання можливості попередити піст виходу продукції, що не відповідає

заданим умовам. Ризик помилки другого роду – набір з трьох факторів: ширина контрольованих меж, ступінь некерованості процесу, обсяг вибірки[9].

Оскільки в загальному випадку недоцільно робити повну оцінку витрат від помилки другого роду в конкретній ситуації, а зручно доцільно обирати малий обсяг підгрупи в 4 чи 5 одиниць, доцільно використовувати межі на відстані трьох сігми і зосереджувати увагу в основному на керуванні і поліпшенні якості самого процесу. Якщо процес статистично керований, контрольні карти Шухарта реалізують метод саме безупинного статистичного перевірки нульової гіпотези, яка говорить, що процес залишається стабільним і не змінюється.

Коли нанесене значення виходить за одну з контрольних меж або серія значень виявляє такі незвичайні структури, відповідний стан не можна далі вважати станом статистичної керованості. На цьому етапі необхідними кроками є знаходження та дослідження невинуватих величин, зупинка та корекція процесу. Може статися так, що коли контрольну карту будують вперше, то часто стається так, що процес статистично некерований. А контрольні межі, які розраховані на основі таких даних будуть призводити до помилкових висновків, оскільки межі будуть занадто широкими. Тому перш ніж установлювати постійні параметри контрольних карт, треба привести процес до статистично керованого стану.

#### 1.4. Карти з пам'яттю

Контрольні карти, що враховують поряд з поточним значенням контрольованого параметра також і результати контролю в декількох попередніх вибірках, називаються контрольними картами з пам'яттю. Такі контрольні карти виявляються більш чутливими до розладнань процесу, тобто вже на самому початку зсуву рівня процесу або зміни його розсіювання дозволяють виявити порушення ходу процесу і своєчасно втрутитися в процес.

Метод кумулятивних сум є сильним засобом виявлення змін показників якості чи стабільності процесу. Основними вимогами щодо застосування таких карт є:

- результати спостереження мають бути в однаковій формі, розмірності, типі даних.
- послідовність точок на карті повинна бути логічною, послідовною в часі, або одиницях продукції, утворюючи природну послідовність, яка підкоряється основним статистичним законам, не є вибірковою.

Дані для побудови CUSUM-карт визначаються наступним чином:

Для побудови контрольних карт кумулятивних сум визначають кумулятивні (накоплені або накопичувальні) суми відхилень окремих значень моніторингової характеристики  $x$ , або вибірових середніх значень вибірок від встановленого (опорного або заданого) значення  $x$  у відповідності з наступним виразом:

$$C_n = \sum_{j=1}^n (x_j - p) = \sum_{j=1}^n x_j - n \cdot p \quad (5)$$

Обчислені та нанесені на графік у логічній (часовій або порядковій) появі кумулятивні сум  $C_n$  утворюють CUSUM-карту. Опорне значення  $p$  встановлюють в залежності від конкретної конфігурації або типу даних, з якими працюють[10].

При розгляді CUSUM-карти і аналізі можливих точок зміни середнього рівня контрольованої змінної, основою розбиття на інтервали є локальні максимуми і мінімуми кривої. Критерій оцінки значущості такої зміни - максимальний ступінь відхилення кривої CUSUM від прямої, що з'єднує крайні точки графіка на інтервалі вибірок, в якому підозрюється зміна[10].

У випадку кумулятивних карт, або CUSUM-карт, головною перевагою є те, що для виявлення розладнання у технологічному процесі, не потрібно велика кількість вхідних даних. Такі карти виявляють розладнання раніше, тобто їх доцільно, і навіть потрібно, використовувати на невеликих підприємствах, які мають контроль на стадіях виробництва. Недоліком таких карт є недостатня можливість автоматизації процесу виявлення розладнання, адже карти кумулятивних сум, разом з V-маскою (буде розглянута докладніше у

наступному розділі) використовують в першу чергу, як графічний метод виявлення нестабільності процесу[10].

### 1.5. Висновки

У цьому розділі був проведений аналіз основних методи виявлення розладнань під час технологічного процесу, а саме: метод знаходження і порівняння з середнім значенням, порівняння значень СКВ середнього, метод карт Шухарта, метод кумулятивних карт, було вирішено взяти за основу метод карт з пам'яттю, або CUSUM-карт, який докладно розглядається в наступному розділі. Пояснені основні переваги та недоліки кожного з методів, наприклад, метод карт Шухарта та кумулятивних карт: CUSUM-карти дають більш чітке уявлення про поведінку процесу, ніж звичайна карта Шухарта, яка не дає відповіді на питання, де відбулися істотні зміни процесу.

## **2 ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ НАКОПИЧУВАЛЬНИХ СУМ. ЗАСТОСУВАННЯ**

### **2.1. Загальне поняття кумулятивних карт**

Контрольні карти, що враховують поряд з поточним значенням контрольованого параметра також і результати контролю в декількох попередніх вибірках, називаються контрольними картами з пам'яттю. Такі контрольні карти виявляються більш чутливими до розладнань процесу, тобто вже на самому початку зсуву рівня процесу або зміни його розсіювання дозволяють виявити порушення ходу процесу і своєчасно втрутитися в процес.

Контрольні карти накопичених сум (їх називають ще картами кумулятивних сум) використовуються в методах контролю якості для виявлення відхилень значень контрольованих характеристик продукції під час технологічного процесу. Кумулятивні карти у своїй суті можуть забезпечувати виявлення розладнання технологічного процесу на ранній стадії. На відміну від звичайної карти Шухарта, кумулятивна карта дає чіткіше уявлення про поведінку процесу, та може надати інформацію про час або місце змін процесу. CUSUM-карта дозволяє швидко і точно визначити область змін процесу, а також момент, коли необхідне введення коригувальних дій[11].

Кумулятивна сума є сумою відхилень значень від певного опорного значення, це значення може бути заданим технологічно(вказане, як характеристика виробником або подібне), або розраховане, як середнє значення, на основі контрольованого стану технологічного процесу. Зміни середнього значення або його зміна може бути представлена візуально, причому, горизонтальний графік вказує на відповідність середнього процесу опорним значенням, а нахил вказує на те, який характер має середнє заданого процесу: спадає або зростає відносно початкового опорного значення. В цьому випадку, в залежності від нахилу графіку, можна казати про те, наскільки суттєвим є розладнання процесу[12].

Особливістю цього методу є те, що рішення щодо статистичної керованості процесу приймається з урахуванням попередньої інформації, тому ці карти ще називають картами з пам'яттю. Це дає можливість значно скоротити вибірку на основі якої приймається рішення, а також пришвидшити сам процес виявлення розладнання. Таким чином, відмітна особливість CUSUM-карт полягає в тому, що нанесені на карту точки не відповідають окремим спостереженнями або статистикам, як, наприклад, карти Шухарта засновані на середніх значеннях або розмаху вибірки, а представляють інформацію про спостереження від першого до останнього включно[15].

## 2.2. Передумови побудови CUSUM-карт

Розглянемо особливості побудови кумулятивних карт.

Значення кумулятивних сум  $C_i$  відкладають на осі ординат в залежності від поточного номера спостережень  $i$ , який приймає послідовні цілі значення  $i = 0, 1, 2, \dots$  (0 - початок координат). По горизонтальній осі один інтервал відповідає значенню за шкалою кумулятивних сум (CUSUM).

Кожне наступне спостереження призводить до різниці значення спостережуваної змінної і опорного значення. Значення різниць підсумовують, утворюючи кумулятивні суми  $C_i$  за формулою:

$$C_n = \sum_{j=1}^n (X_j - T), \quad (6)$$

де  $X_j$  - моніторингове значення або характеристика;

$T$  - опорне значення (цільове або середнє);

$n$  - номер вибірки;

Іноді опорне значення  $T$  називають еталонним. Опорне значення  $T$  встановлюють залежно від конкретної ситуації і від типу даних, з якими необхідно працювати:

- 1) При управлінні процесом. У багатьох випадках  $T$  - встановлена мета або цільовий рівень показника якості. На основі CUSUM-карти отримують інформацію про неточне налаштування процесу на  $T$ . Іноді в якості  $T$  вибирають не цільове значення, а середній рівень

показника якості, розрахований по попередньої серії даних, отриманої при роботі стабільного процесу.

- 2) При аналізі попередніх даних. При аналізі серії накопичених даних метою є середнє арифметичне всієї серії. Такий вибір  $T$  призведе криву CUSUM до виду, коли початок і кінець графіка матимуть одне і те ж значення ординат.
- 3) При плануванні експериментів. Двійкові дані послідовності, які кодуються числами 0 і 1, вимагають належного оцінювання частки відгуків з кодом 1. Цю частку потім використовують як цільове значення. Можна використовувати загальну частку для всього експерименту або в разі послідовних експериментів з двійковим відгуком мета можна встановлювати на частку, розраховану на першу інтервалу експерименту. Пізніше її можна змінити, якщо вона виявиться невідповідною.
- 4) При вибірковому приймальному контролі, наприклад, при контролі за альтернативною ознакою, як цільового значення можна використовувати частку невідповідних одиниць продукції у вибірці або прийнятний рівень якості AQL.

При розладнанні процесу, в деякий момент часу  $t_0$  відбудеться зміщення рівня налаштування, і крива значень  $C_n$  буде коливатися щодо променя з відповідним математичним сподіванням, що має ненульову крутизну, деяке  $(T_t - T)$ . У випадку, коли крива на CUSUM-карті починає все більше віддалятися від осі  $OX$ , тобто осі часу, це означає, що сталося відхилення від налаштування, яке має не випадковий характер.

Розглянемо одну з методик застосування послідовного критерію відношення ймовірностей. Маємо генеральну сукупність, елементи якої, є контрольованими ознаками, мають нормальний розподіл із заданою дисперсією  $\sigma_0^2$  і рівнем настройки (опорним значенням) процесу  $T$ . Висувається нульова гіпотеза  $H_0: T_t = T$ . Процес не розладжений, при альтернативній гіпотезі  $H_1$ :



$T_i = T \pm \Delta$ , де  $\Delta$  - зміщення по відношенню до опорного значення. При реалізації процедури перевірки гіпотез  $H0$  і  $H1$  можуть виникати помилкові рішення про прийняття тієї чи іншої гіпотези. Імовірність помилки 1-го роду (прийняття гіпотези  $H1$ , коли справедлива гіпотеза  $H0$ ) визначається завданням верхньої межі  $\alpha$  (рівнем значущості). Імовірність помилки 2-го роду  $\beta$  при заданому обсязі вибірки  $n$  необхідно обчислити для кожного значення  $T_i \neq T$  [16].

На практиці зазвичай задаються значеннями  $\alpha$  і  $\beta$ , і на їх підставі визначаються граничні значення  $A$  і  $B$ :

$$A = \frac{\beta}{\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)} \quad (7)$$

$$B = \frac{(1 - \beta)}{\frac{\alpha}{2}} \quad (8)$$

Для нормального розподілу, беручи до уваги, що для миттєвої вибірки проводиться  $n$  спостережень, а за ним знаходиться середнє значення, відношення вірогідностей є наступним:

$$LQ_n = \frac{\prod_{j=1}^n f(\bar{x} | T)}{\prod_{j=1}^n f(\bar{x} | (T \pm \Delta))}, \quad (9)$$

де функції достовірності при справедливості гіпотез  $H0$  і  $H1$  мають вигляд:

$$L(\bar{x} | T) = \frac{1}{\left(\sqrt{2\pi} \cdot \frac{n}{\sigma_0}\right)^t} \cdot \exp \left[ \frac{\sum_{j=1}^t (\bar{x}_j - T)^2 \cdot n}{2\sigma_0^2} \right] \quad (10)$$

$$L(\bar{x} | T \pm \Delta) = \frac{1}{\left(\sqrt{2\pi} \cdot \frac{n}{\sigma_0}\right)^t} \cdot \exp \left[ \frac{\sum_{j=1}^t (\bar{x}_j - (T \pm \Delta))^2 \cdot n}{2\sigma_0^2} \right] \quad (11)$$

Проте, на практиці критерій відношення ймовірностей представляють в логарифмічній формі, який після проведення простих математичних операцій, буде представлено у вигляді:

$$\ln(LQ_n) = \frac{\left[ \pm 2 \cdot \sum_{j=1}^t (\bar{x}_j - T) \cdot \Delta - \sum_{j=1}^t \Delta^2 \right] \cdot n}{2\sigma_0^2} \quad (12)$$

Враховуючи, що  $C_n = \sum_{j=1}^n (X_j - T)$ , та вводячи нормоване зміщення процесу:

$$\delta = \frac{\Delta}{\sigma_0}, \quad (13)$$

де,  $\Delta$  - зміщення по відношенню до опорного значення;

$\sigma_0$  - стандартне відхилення;

отримаємо наступне:

$$\ln(LQ_n) = -\frac{nt\delta^2}{2} \pm \frac{n\delta C_n}{\sigma_0} \quad (14)$$

Вище було доведено, що граничній ситуації, коли приймається альтернативна гіпотеза  $H1$  (контроль триває), відповідає граничне значення В, представлене виразом (8). Логарифм відношення достовірності для даного випадку буде:

$$\ln(LQ_n) = \ln \frac{1-\beta}{\frac{\alpha}{2}} \quad (15)$$

На підставі рівності лівих частин (14) і (15) випливає, що

$$-\frac{nt\delta^2}{2} \pm \frac{n\delta C_n}{\sigma_0} = \ln \frac{1-\beta}{\frac{\alpha}{2}}, \text{ або}$$

$$|C_n| \frac{n\delta}{\sigma_0} = \ln \frac{1-\beta}{\frac{\alpha}{2}} - \frac{nt\delta^2}{2} \quad (16)$$

Визначимо значення  $|C_n|$  для  $t = 0$ . Підставивши в (16)  $t = 0$ , отримаємо:

$$b = \frac{\sigma_0}{n\delta} \cdot \ln \frac{1-\beta}{\frac{\alpha}{2}} \quad (17)$$

Візьмемо похідну по  $t$  від виразу (16), яка визначає тангенс кута нахилу променів, які відповідають нижньому і верхньому граничним значенням допустимих відхилень розладнання процесу:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\delta \sigma_0}{2} \quad (18)$$

Точка перетину цих променів, яка лежить на осі  $t$ , визначиться як висота  $SO$  трикутника  $(-b)$ ,  $S$ ,  $(b)$ . Позначимо відрізок  $SO$  через  $d$ . Тоді з трикутника отримаємо співвідношення:

$$d = \frac{b}{c} \quad (19)$$

Зробивши підстановку значень  $b$  і  $c$  в останній вираз отримаємо:

$$d = \frac{2}{n\delta^2} \cdot \ln \frac{1-\beta}{\frac{\alpha}{2}} \quad (20)$$

На практиці значенням  $\beta$  нехтують, тоді:

$$d = -\frac{2}{n\delta^2} \cdot \ln \frac{\alpha}{2} \quad (21)$$

Таким чином, ордината, яка наноситься на контрольну карту, що відповідає даному моменту часу  $t$ , дорівнює сумі ординати  $|C_n|$  поточного спостереження і значення статистики, обчисленого за попередньою вибіркою.

Для оцінювання CUSUM-карт в основному застосовується наступний метод:

- метод графічної оцінки за допомогою, так званої, V-маски, запропонований Barnard [17];

2.3. Правила прийняття рішень при використанні кумулятивних карт. Прийняття рішень за допомогою V-маски.

При моніторингу процесу метод CUSUM-карт допомагає вирішувати два завдання:

- виявлення значимих зрушень (змін) процесу від цільового рівня;

- визначення точок їх виникнення.

Основне правило прийняття рішень полягає в побудові на CUSUM-карті V-маски і визначенні критичних змін при виході точок кривої CUSUM за лінії V-маски. Існують три різних форми масок:

- повна V-маска;
- усічена V-маска;
- паралельна маска;

Найбільш поширена з них – остання, усічена V-маска.

При обробці CUSUM-карт з використанням V-маски використовується шаблон з розрізом у вигляді літери V, який утворює кордонну область. Так як буква V повернута на  $180^\circ$ , то процедуру обробки карт за допомогою V-маски пов'язують з оберненим LQ-критерієм, тобто процес розладнання виявлено, і потрібно встановити, в який момент часу він почався. Суть методу показана на рис.2.1. і зводиться до наступного.

При інтерпретації карти на неї накладається шаблон (заштрихована частина на рис.2.1.) вирізом вліво, причому бісектриса кута має спрямовуватися паралельно осі  $t$ . Після цього, маска зміщуються вздовж кривої накопичених сум до тих пір, щоб подальша точка на карті збігалася з точкою  $O$  V-маски. При цьому довжина відрізка  $SO$  дорівнює значенню  $d$ , розрахованої відповідно до (20) кут розкриття V-маски ви відбирають відповідно до (18) наступним чином[16]:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\delta\sigma_0}{2}\right), \quad (22)$$

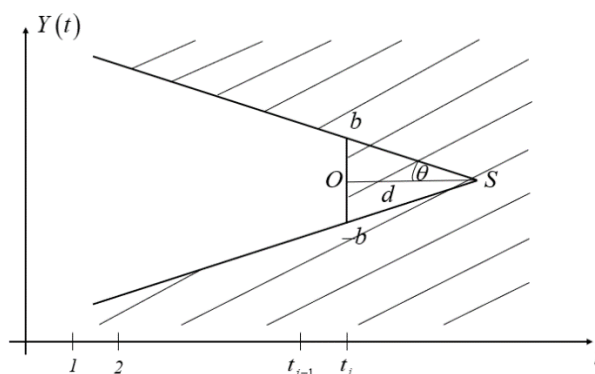


Рис. 2.1. Шаблон V-маски для обробки CUSUM-карт

Якщо графік, який представляє послідовно з'єднані між собою точки  $(1, y_1), \dots (t, y_t)$  знаходиться всередині V-маски, то до моменту часу  $t$  зміщення процесу від заданого значення значно менше і обумовлено впливом випадкових величин і обмеженим обсягом  $n$  вибірок. Якщо ж графік перетинає одну зі сторін V-маски, то це свідчення того, що до моменту часу  $t$  відхилення процесу від заданого (номінального) значення настільки велике, що необхідно втручатися в процес. Втручання в процес має на увазі зменшення або збільшення рівня настройки, що залежить від того, яка зі сторін V-маски перетинається[15].

Слід звернути особливу увагу на той факт, що обчислення параметрів шаблону втрачає сенс, якщо не враховувати масштабний коефіцієнт  $f$ , який показує, скільки одиниць по осі  $|C_n|$  відповідає одній одиниці по осі  $t$ . Тут є відмінність від карт Шухарта, для яких важливий масштаб тільки по вертикальній осі[15].

Вираз (17), на підставі якого розраховується кут, можна застосовувати безпосередньо тільки, коли по осі  $t$  (вісь абсцис) і осі  $|C_n|$  (вісь ординат) відкладаються величини в одних і тих же одиницях. Виходячи з цього, в загальному випадку, вираз (18) слід записати[15]:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\delta \sigma}{2}, \quad (23)$$

Параметр ж V-маски  $d$  визначається відповідно до виразу (20). Відповідно до (18) кут "розкриття" V-маски залежить від зсуву  $\Delta$  процесу, тобто:

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{\delta \sigma_0}{2} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta}{2} \quad (24)$$

Таким чином, можна сказати наступне, чим менш передбачуване допустиме зміщення процесу, тим менше буде кут, а тому, буде більше число кроків з моменту часу  $t\theta$ , коли настане розладнання процесу.

Параметрами V-маски є також значення  $b$  - ордината, відсікає променем, відповідним кордоні поділу області прийняття рішення при послідовній процедурі, і значення  $d$  - відстань від точки початку координат до точки  $S$

перетину променів (піввісь). Ці параметри залежать від значення рівня статистичної значущості  $\alpha$  перевірки гіпотез (помилки першого роду). Аналіз цих виразів показує, що чим менше значення  $\alpha$ , тим більше часу (кроків) пройде з моменту розладу процесу до моменту встановлення цього факту при використанні CUSUM-карти[15].

#### 2.4. Висновки

У цьому розділі було проведено аналіз кумулятивних карт, або CUSUM-карт. Була розібрана основна формула для збору даних для побудови кумулятивних карт. Окрім цього, визначили поняття опорного значення для кумулятивної карти, виведення гіпотези, критерії її оцінки, прийняття рішень. У останньому підпункті було розглянуто один з методів використання CUSUM-карт, а саме, прийняття рішень про стабільність технологічного процесу на основі накладання V-маски.

### **3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПУ РОБОТИ АЛГОРИТМУ СТАТИСТИЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ РОЗЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

#### **3.1. Загальні положення**

Після ознайомлення з основними положеннями щодо CUSUM-карт, варто перейти до експерименту.

Для проведення експерименту було прийнято рішення використовувати мову програмування Python, яка є однією з найпоширеніших у використанні для аналізу великої кількості даних (Big Data) та в цілях науки про дані (Data Science). Для генерації та обробки (групування даних) масивів даних було обрано наступні бібліотеки:

- NumPy
- Pandas

В якості репрезентативного інструменту, було використано бібліотеку широкого використання matplotlib для побудови графіків різних типів. Варто звернути увагу, що програмне забезпечення для алгоритму а також використання бібліотек є безкоштовним та законним в Україні.

У наступних лістингах буде продемонстровано вихідний код, який є було використано для експерименту, та в подальшому стане частиною кінцевого продукту.

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
```

Імпортування бібліотек

```
seed = 26548465
np.random.seed(seed)
mu, sigma, smplcnt = 100, 20, 200
data = np.random.normal(mu, sigma, smplcnt)
data_add = np.mean(data.reshape(-1, 5), axis=1)
```

Під час генерації квазі-випадкових чисел вихідні дані мають бути завжди однаковими при будь-якому запуску алгоритму, тому використовуємо змінну *seed*, якій присвоюємо випадкове число.

Команда *np.random.normal* згенерує масив чисел з номінальним значенням  $\mu = 100$ , стандартним відхиленням  $\sigma = 20$  в кількості  $n = 200$  значень. Це і будуть вихідні параметри експерименту, які зображені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Вихідні дані експерименту

X	$\sigma$	n	m
100	20	200	5

Варто зазначити, що після отримання цих даних, вони будуть згруповані по  $m = 5$  і усереднені. Також, на рис.3.1. зображено 2000 зразків, згенерованих квазі-випадковим способом з використанням цієї ж команди, що дозволяє наглядно показати, що дані дійсно підкорюються нормальному закону розподілу.

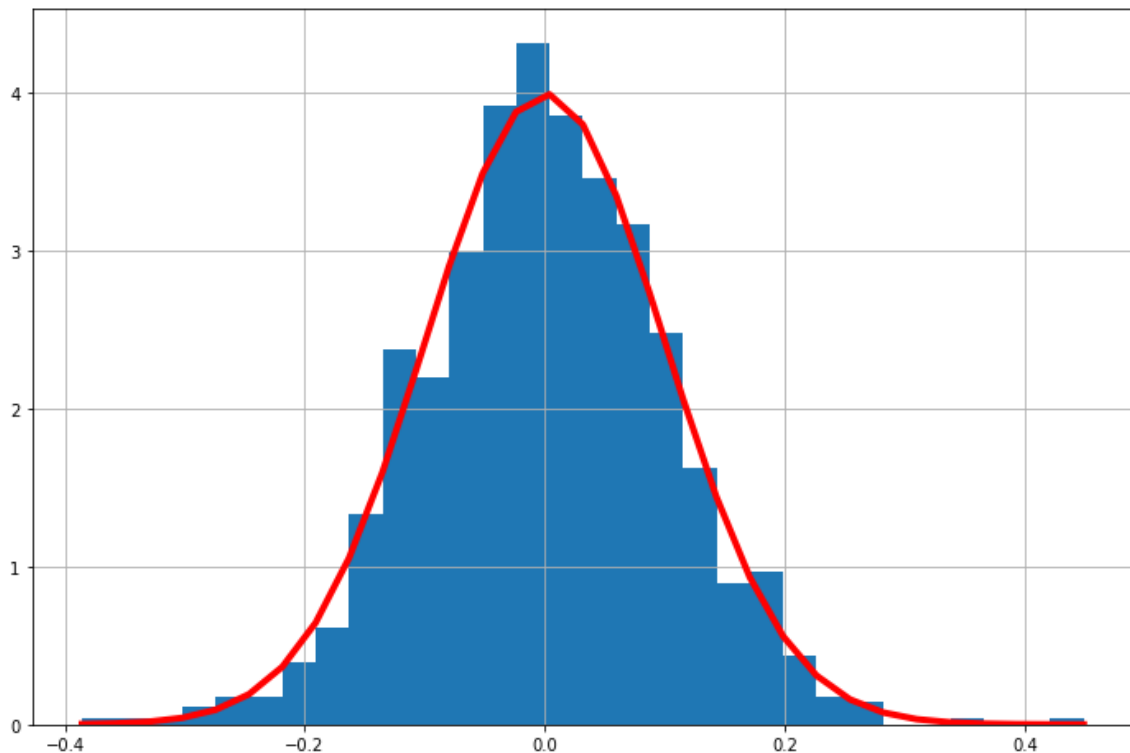


Рис.3.1. Нормальний закон розподілу даних, згенерованих командою *np.random.normal*



Отримавши вихідний масив, наступним кроком є знаходження кумулятивної суми контрольованого процесу. Виконується це наступним чином:

```
data_cus = np.cumsum(data_add - X)
```

Цей рядок означає, що буде створений масив кумулятивних сум, який базується на основній формулі, описаній в розділі 2, а саме, поточне значення мінус опорне (в даному випадку опорне значення дорівнює ста).

Відобразимо на малюнку рис.3.2. отриману карту кумулятивних сум

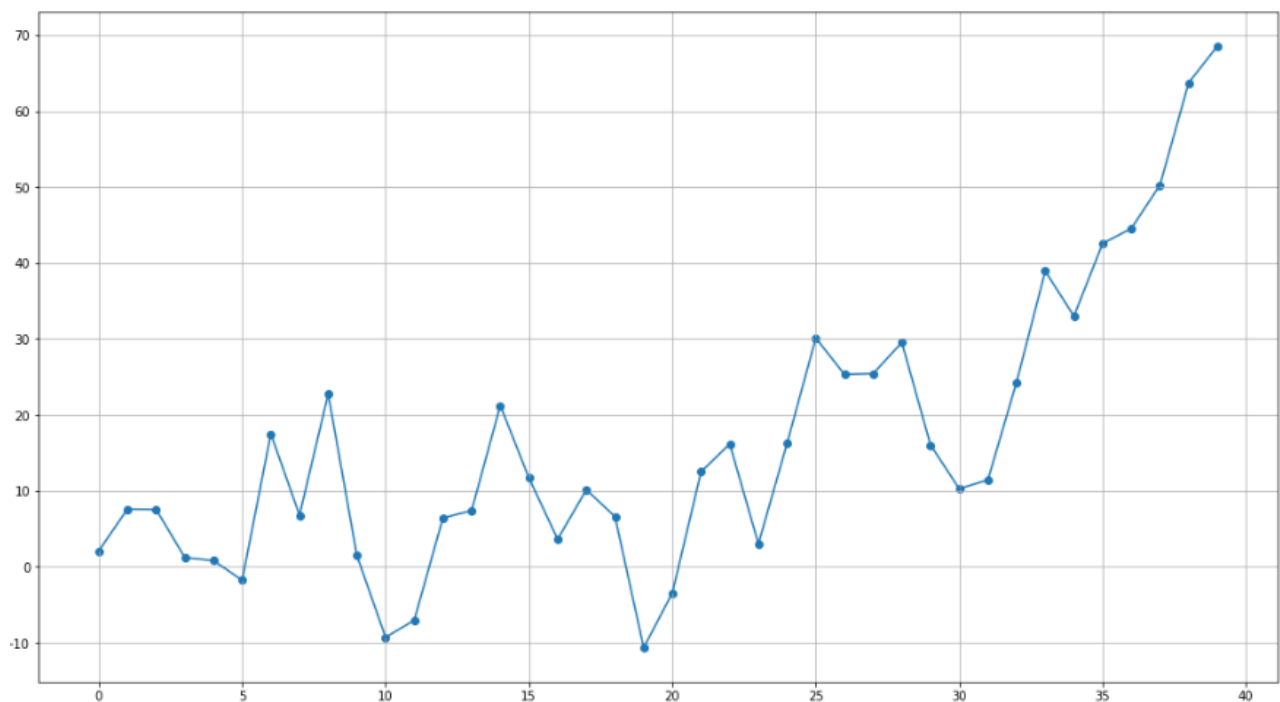


Рис.3.2. Карта кумулятивних сум керованого технологічного процесу.

Після отримання даних, виникає питання, яким чином забезпечити розладнання технологічного процесу в межах експерименту? Для цього було вирішено штучно вводити зміщення, починаючи з деякого кроку  $k = 10$ . Для реалізації цієї частини, було створено просту функцію, яка реалізує це зміщення.

```
def deviance(array, index, deviant):
    """Returns the same array, starting from index "index" increased by deviant """
    for i in range(index, len(array)):
        array[i] += deviant
    return array
```

Використовуючи вищенаведену функцію, було згенеровано додатковий масив, який містить у собі значення, які починаючи з 10-го кроку відрізняються на штучно введене зміщення  $\Delta = 10$ , яке знайдене з формули (24).

```
data_dev = data_add.copy()
data_dev = deviance(data_dev, 12, 10)
data_dev_cus = np.cumsum(data_dev - 100)
```

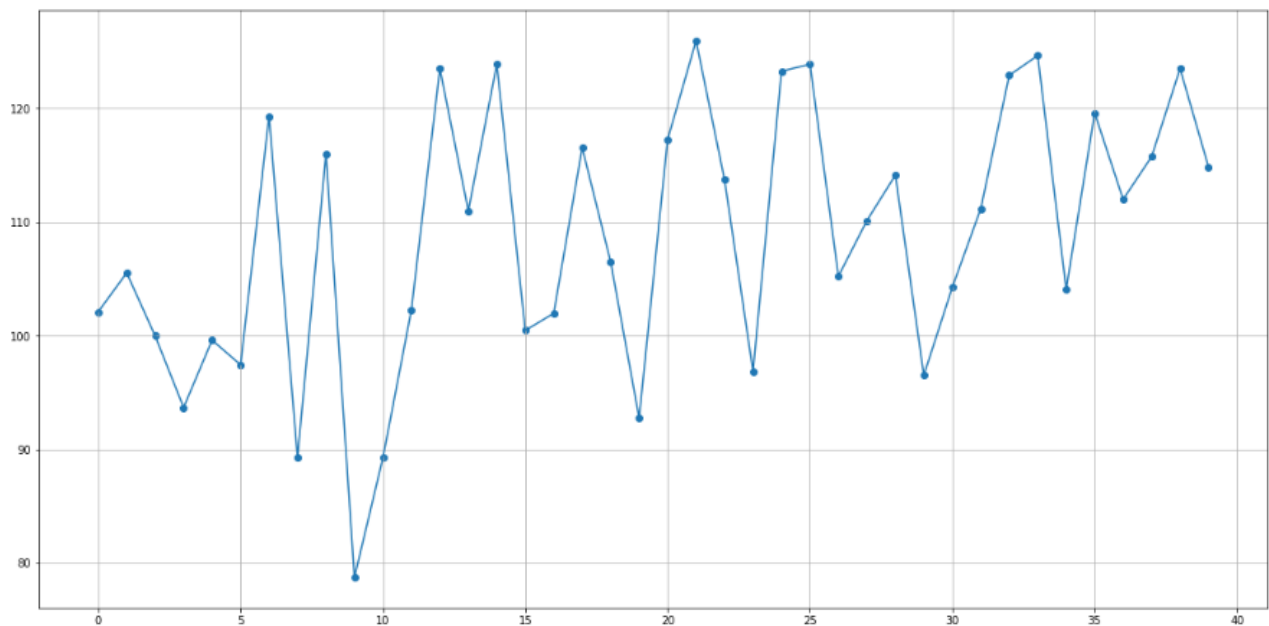


Рис.3.3. Поступове розладнання технологічного процесу  
(починаючи з кроку 11)

Коротка таблиця у орієнтованого вигляду даних. Необхідно приводити саме дві колонки, як з оригінальними значеннями так і зміщеними задля моніторингу місця зміщення. Адже у подальшому, воно може варіюватися.

Табл.3.2. Отримані дані

№ п/п	Оригінальне значення	Зміщене значення
1.	78.729	78.729
2.	89.238	89.238
3.	102.244	112.244
4.	113.471	123.471

На 3-му кроці з'являється зміщення, яке далі буде присутнім до кінця масиву. Цей масив відображено на малюнку рис.3.3., у поєднанні з даними, отриманими раніше.

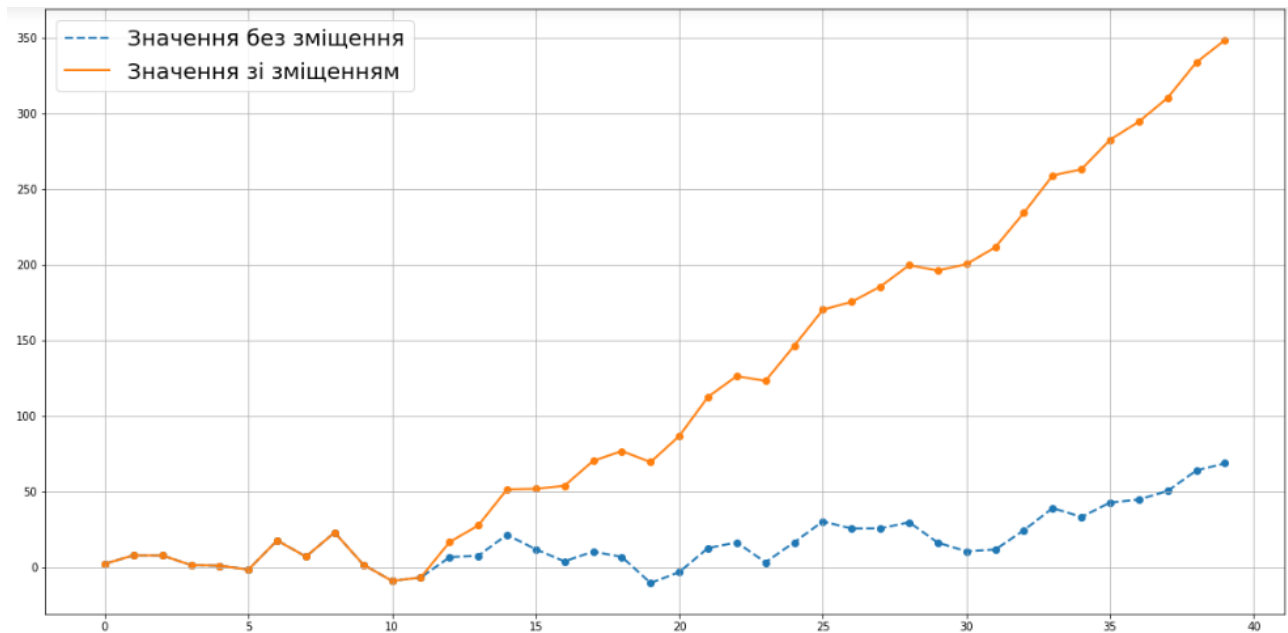


Рис.3.4. Карта кумулятивних сум керованого та розладнаного процесів

### 3.2. Безпосередньо аналіз

Отримали CUSUM-карту. Як працює V-маска для кумулятивних карт, було викладено раніше, і як було доцільно наведено, основним недоліком є те, що накладання V-маски є досить кропітким процесом, який дозволяє виявити початок розладнання, але робить це недостатньо оперативно. Також логічним є запитання, чи є спосіб пришвидшити виявлення розладнання, як такого.

У якості інформативної величини було обрано тангенс кута нахилу прямої, яка з'єднує попередню і поточну контрольовані точки, і порівнювати це значення з опорним. Опорне значення, яке виступає границею можливих змін у процесі, обумовлених впливом випадкових величин. Заснований на вхідних параметрах, ми можемо розрахувати опорне значення для нашого конкретного випадку. Опорне значення буде дорівнювати п'яти, який розраховано наступним чином:

$$T = \operatorname{tg} \theta = \frac{\delta \sigma}{2} = \frac{0.5 \cdot 20}{2} = 5 \quad (25)$$

Отримавши опорне значення для експерименту, можемо перейти до порівняння. Важливими питаннями є наступні:

- Скільки точок необхідно брати для аналізу?
- Через скільки точок необхідно проводити прямі?
- Яким чином приймати рішення на кожному з інтервалів?

Вирішити перше запитання не складно, кількість точок, які необхідно брати для аналізу обумовлене тим, яку вибірку маємо, з якими даними працюємо. Узагальнене правило наступне, чим більше даних тим краще.

Розглядаючи питання кількості точок для побудови прямої, ми зійшлися на думці, що необхідно дивитися на декілька випадків, як через дві точки, так і через три або 4 точки. Як буде показано далі у експерименті, чим більше точок ми беремо, тим швидше графік наближається до стану схожого на ковзну регресію, або середнє значення.

В основу прийняття рішення взяті опорне значення тангенсу кута нахилу прямої. А саме, гіпотеза прийняття рішення виглядає наступним чином

$H_0: X \ll T$  – коли поточне значення значно менше, приймається гіпотеза  $H_0$ , яка говорить, що дана точка не є показником розладнання процесу.

$H_1: T \gg X$  – коли поточне значення значно більше, приймається гіпотеза  $H_1$ , яка говорить, що дана точка є показником розладнання процесу.

У випадку, коли значення  $X$  знаходиться в інтервалі  $(0.6 \times T; 2.1 \times T)$  ми кажемо, що точка не є інформативною і не береться до уваги.

### 3.3. Побудова карт Шухарта

Змоделюємо випадковий процес (з нормальним законом розподілу) за вхідними даними, наведеними у таблиці 3.1.

Для кожного моменту часу  $t$  взяли вибірку об'ємом  $m = 5$  і, так само, знайшли їх середні значення. Отримані значення представлені в табл. 3.3. Окрім того, також показані значення кумулятивних сум для цього процесу у контрольованому та зміщеному вигляді.

Таблиця 3.3. Масив даних технологічного процесу

№	Контрольований процес			Процес зі штучно введеним зміщенням		
	$\bar{x}_j$	$\bar{x}_j - 100$	$y_{ij}$	$\bar{x}_j$	$\bar{x}_j - 100$	$y_{ij}$
1	91,4	-8,6	-8,6	91,4	-8,6	-8,6
2	97,2	-2,8	-11,4	97,2	-2,8	-11,4
3	92,8	-7,2	-18,6	92,8	-7,2	-18,6
4	107,8	7,8	-10,8	107,8	7,8	-10,8
5	110	10	-0,8	110	10	-0,8
6	97,2	-2,8	-3,6	97,2	-2,8	-3,6
7	112,4	12,4	8,8	112,4	12,4	8,8
8	103	3	11,8	103	3	11,8
9	95,6	-4,4	7,4	95,6	-4,4	7,4
10	95,2	-4,8	2,6	95,2	-4,8	2,6
11	103,2	3,2	5,8	113,2	13,2	15,8
12	95,8	-4,2	1,6	105,8	5,8	21,6
13	91	-9	-7,4	101	1	22,6
14	94,6	-5,4	-12,8	104,6	4,6	27,2
15	109	9	-3,8	119	19	46,2
16	102	2	-1,8	112	12	58,2
17	105	5	3,2	115	15	73,2
18	109,6	9,6	12,8	119,6	19,6	92,8
19	106,6	6,6	19,4	116,6	16,6	109,4
20	92,8	-7,2	12,2	102,8	2,8	112,2

У випадку, коли ми розглядаємо за допомогою карт Шухарта наявність розладнання цього процесу, маємо наступне:

$$UCL = T + \frac{z_{0,995} \cdot \sigma_0}{\sqrt{n}} = 100 + 1,152 \cdot 20 = 123,04$$

$$LCL = T - \frac{z_{0,995} \cdot \sigma_0}{\sqrt{n}} = 100 - 1,152 \cdot 20 = 76,96,$$

де,  $T$  – опорне значення,

$\sigma_0$  - стандартне відхилення.

Співставимо з цими межами середніми значеннями вибірок, представлені в табл. 3.3., коли відсутній зсув. Можна зробити висновок, що процес дійсно статистично керований, адже усі значення не виходять за критичні межі, а розкид обумовлений лише впливом випадкових величин.

Якщо повторити ці ж дії, але використовуючи CUSUM-карти, ввівши штучно зсув, починаючи з 11 кроку, ми побачимо, що значення збільшені на 10 од., однак вони не виходять за значення верхньої і нижньої контрольованих меж  $UCL = 123,04$  од. і  $LCL = 76$ . Таким чином, хоча і процес розладжений - є постійний зсув, і контрольні карти Шухарта це не виявляють.

#### 3.4. Використання алгоритму CUSUM-карт

Для побудови таблиць даних, нам необхідно буде мати наступні колонки:

- Поточне значення  $X$
- Зміщене значення  $X$
- Значення кумулятивної суми в даній точці (CUSUM-значення)
- Тангенс кута нахилу прямої, проведеної через ці точки.

Виведемо функцію для знаходження тангенсу кута нахилу прямої через  $num$  точок.

```
def tan_data(num, array):
    """Returns the array which contains tg values between values positioned
    between num indexes i.e. num=2 so between
    2 and 0, 1 and 3, across all array. If there is no way to count the value, 0 will
    be placed instead.
    """
    tan_array = []
    for i in range(num, len(array)):
        tan_array.append(round(abs(array[i] - array[i-num]) / num, 3))

    for i in range(0, num):
        tan_array.append(0)
    return np.array(tan_array)
```

Відображаємо таблицю з даними за допомогою `pandas.DataFrame`.

Таблиця 3.4. Кінцевий масив даних

№ п/п	$X$	$X + \delta$	CUSUM	$tg\theta$
1.	102.082	102.082	2.082	5.507
2.	105.507	105.507	7.589	0.041
3.	99.959	99.959	7.548	6.333
4.	93.667	93.667	1.215	0.408
5.	99.592	99.592	0.807	7.418
6.	97.418	107.418	8.225	29.276

7.	119.276	129.276	37.501	0.714
8.	89.286	99.286	36.788	25.955
9.	115.955	125.955	62.742	11.271
10.	78.729	88.729	51.471	0.762
11.	89.238	99.238	50.709	12.244
12.	102.244	112.244	62.954	23.471

Починаючи з 6-го кроку в таблиці є постійне зміщення, яке кумулятивна карта майже одразу «бачить». Варто зазначити те, що відбувається в цей час у стовпці, що відповідає за тангенс кута нахилу, на перший погляд він змінюється досить хаотично, проте, якщо ми візьмемо і проаналізуємо значення відповідно до поставленої гіпотези, виявиться наступне, зазначене в таблиці 3.4.

Таблиця 3.5. Гіпотеза, яка була прийнята при аналізі даних

№ п/п	Початкова точка	Кінцева точка	Прийнята гіпотеза
1.	7	6	H0
2.	8	7	H1
3.	9	8	H1
4.	10	9	H0
5.	11	10	H1
6.	12	11	H1

Преважна більшість – гіпотеза H1. Це свідчить про те, що в даному процесі виявлене розладнання, починаючи з точки 7.

Виконуючи подібні дії для інших масивів, було помічено, що можливо звертати увагу не лише на тангенс кута нахилу, також інформативним параметром є різниця значень між двома точками, що буде наведене нижче. Також варто перейти до проведення прямої більше ніж через дві точки, а через три або навіть чотири. Результат буде досить цікавим.

```
def abs_diff(num, array):
```

```
    """Returns the array which contains difference between values positined
    between num indexes i.e. num=2 so between
```

```
    2 and 0, 1 and 3, across all array. If there is no way to count the value, 0 will
    be placed instead.
```

```
    """
```

```

diff_array = [0]*num
for i in range(num, len(array)):
    diff_array.append(round(abs(array[i] - array[i-num]), 3))
return np.array(diff_array)

```

Ми наближаємося до кінцевого вигляду таблиць, які генеруються тестувальним алгоритмом.

Були додані наступні інформаційні дані:

- ABS diff – абсолютне значення різниці між двома моніторинговими значеннями
- ABS diff2, ABS diff3 – абсолютне значення різниці між двома, віддаленими один від одної моніторинговими значеннями на одну та на дві точки відповідно.
- tg\_2, tg\_3 – значення тангенсу кута прямої, яка проходить через дві моніторингові точки, які знаходяться на відстані однієї або двох точок відповідно.

Таблиця 3.6. Один з масивів даних експерименту

№	X	X + $\delta$	CUSUM	ABS diff	ABS diff2	ABS diff3	tg $\theta$	tg_2	tg_3
1.	102.082	102.082	2.082	-	-	-	5.507	2.733	0.289
2.	105.507	105.507	7.589	5.507	-	-	0.041	3.187	2.261
3.	99.959	99.959	7.548	0.041	5.466	-	6.333	3.37	3.107
4.	93.667	93.667	1.215	6.333	6.374	0.867	0.408	1.495	5.429
5.	99.592	99.592	0.807	0.408	6.741	6.782	2.582	8.347	1.993
6.	97.418	97.418	-1.775	2.582	2.99	9.322	19.276	4.281	11.506
7.	119.276	119.276	17.501	19.276	16.694	16.286	10.714	7.62	1.323
8.	89.286	89.286	6.788	10.714	8.562	5.98	15.955	2.658	5.359
9.	115.955	115.955	22.742	15.955	5.241	24.517	21.271	16.017	6.596
10.	78.729	78.729	1.471	21.271	5.317	16.03	10.762	0.741	8.318
11.	89.238	89.238	-9.291	10.762	32.033	16.078	12.244	17.858	15.559
12.	102.244	112.244	2.954	12.244	1.483	19.789	23.471	17.216	19.426
13.	113.471	123.471	26.424	23.471	35.715	24.954	10.962	17.404	11.75
14.	100.962	110.962	37.386	10.962	34.433	46.677	23.846	12.144	8.745
15.	113.846	123.846	61.232	23.846	34.808	58.279	0.442	1.195	6.3



16.	90.442	100.442	61.674	0.442	24.288	35.25	1.947	9.23	8.306
-----	--------	---------	--------	-------	--------	-------	-------	------	-------

В таблиці 3.5. описані значення отримані протягом експерименту включаючи:

- Значення абсолютної різниці між такими парами точок, наприклад,  $2 - 1$ ,  $3 - 1$ ,  $4 - 1$ ;
- Значення тангенсів кутів нахилу утворених проведенням прямої (відрізку) між парами точок, наприклад,  $2 - 1$ ,  $3 - 1$ ,  $4 - 1$ ;
- Зазначене кумулятивне значення, яке безпосередньо зростає з кожним кроком після введення штучного відхилення.

Відповідні зображення наведені у рис.3.4., 3.5., 3.6.

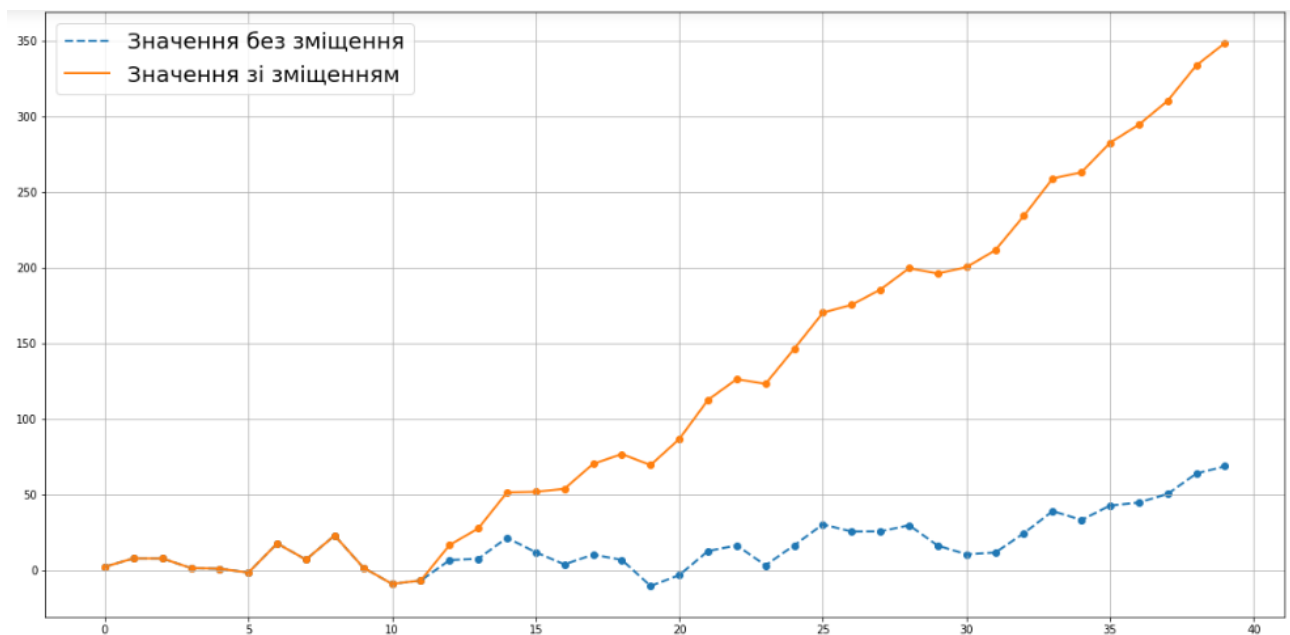


Рис.3.5. Карта кумулятивних сум керованого та розладнаного процесів, прямі проведені через дві точки

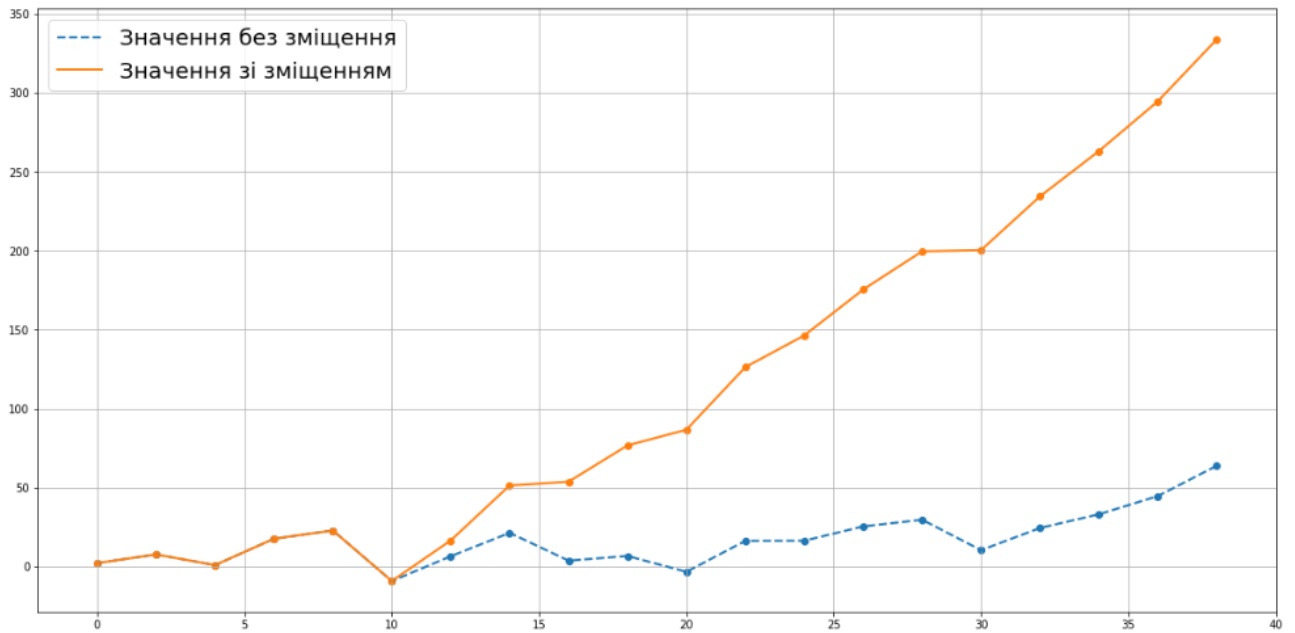


Рис.3.6. Карта кумулятивних сум керованого та розладнаного процесів, прямі проведені через три точки

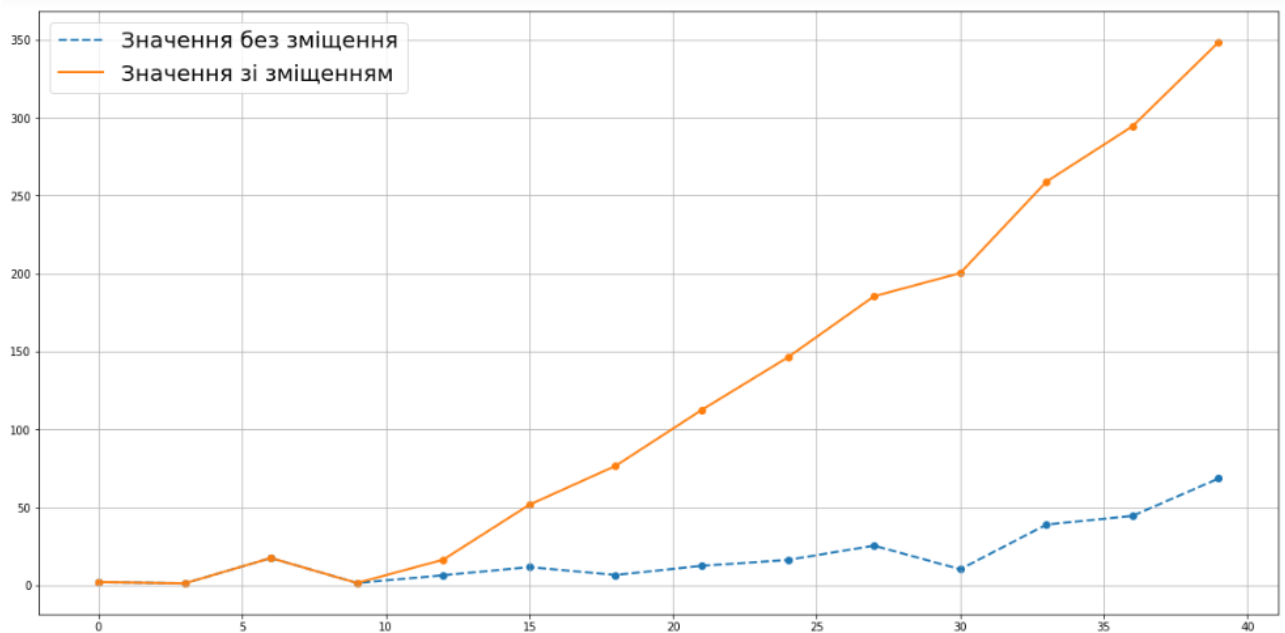


Рис.3.7. Карта кумулятивних сум керованого та розладнаного процесів, прямі проведені через чотири точки

Наступні експериментальні дані були використані для перевірки гіпотези

Таблиця 3.7. Зміщення вводиться з 6-го кроку

№ п/п	X	X + $\delta$	CU SUM	ABS diff	ABS diff2	ABS diff3	tg $\theta$	Tg_2	Tg_3
1.	102.082	102.082	2.082	0	0	0	5.507	2.733	0.289
2.	105.507	105.507	7.589	5.507	0	0	0.041	3.187	2.261
3.	99.959	99.959	7.548	0.041	5.466	0	6.333	3.37	0.226

4.	93.667	93.667	1.215	6.333	6.374	0.867	0.408	3.505	12.095
5.	99.592	99.592	0.807	0.408	6.741	6.782	7.418	18.347	11.993
6.	97.418	107.418	8.225	7.418	7.01	0.678	29.276	14.281	18.172
7.	119.276	129.276	37.501	29.276	36.694	36.286	0.714	12.62	4.657
8.	89.286	99.286	36.788	0.714	28.562	35.98	25.955	7.342	4.641
9.	115.955	125.955	62.742	25.955	25.241	54.517	11.271	6.017	0.07
10.	78.729	88.729	51.471	11.271	14.683	13.97	0.762	5.741	11.651
11.	89.238	99.238	50.709	0.762	12.033	13.922	12.244	17.858	15.559
12.	102.244	112.244	62.954	12.244	11.483	0.211	23.471	17.216	19.426
13.	113.471	123.471	86.424	23.471	35.715	34.954	10.962	17.404	11.75
14.	100.962	110.962	97.386	10.962	34.433	46.677	23.846	12.144	8.745

Таблиця 3.8. Зміщення вводиться з 11-го кроку

№ п/п	X	X + $\delta$	CU SUM	ABS diff	ABS diff2	ABS diff3	tg $\theta$	Tg_2	Tg_3
5	97.418	97.418	-1.775	2.582	2.99	9.322	19.276	4.281	8.172
6	119.276	119.276	17.501	19.276	16.694	16.286	10.714	2.62	5.343
7	89.286	89.286	6.788	10.714	8.562	5.98	15.955	2.658	5.359
8	115.955	115.955	22.742	15.955	5.241	24.517	21.271	16.017	6.596
9	78.729	78.729	1.471	21.271	5.317	16.03	10.762	0.741	8.318
10	89.238	89.238	-9.291	10.762	32.033	16.078	12.244	17.858	15.559
11	102.244	112.244	2.954	12.244	1.483	19.789	23.471	17.216	19.426
12	113.471	123.471	26.424	23.471	35.715	24.954	10.962	17.404	11.75
13	100.962	110.962	37.386	10.962	34.433	46.677	23.846	12.144	8.745
14	113.846	123.846	61.232	23.846	34.808	58.279	0.442	1.195	6.3
15	90.442	100.442	61.674	0.442	24.288	35.25	1.947	9.23	8.306
16	91.947	101.947	63.621	1.947	2.389	26.235	16.512	11.486	5.239
17	106.512	116.512	80.133	16.512	18.459	18.901	6.46	0.398	5.478
18	96.46	106.46	86.593	6.46	22.972	24.919	7.256	4.987	11.965
19	82.744	92.744	79.338	7.256	0.795	15.716	17.229	21.575	18.945

Таблиця 3.9. Зміщення вводиться з 17-го кроку

№ п/п	X	X + $\delta$	CU SUM	ABS diff	ABS diff2	ABS diff3	tg $\theta$	Tg_2	Tg_3
9	78.729	78.729	1.471	21.271	5.317	16.03	10.762	4.259	1.651
10	89.238	89.238	-9.291	10.762	32.033	16.078	2.244	7.858	5.559
11	102.244	102.244	-7.046	2.244	8.517	29.789	13.471	7.216	9.426
12	113.471	113.471	6.424	13.471	15.715	4.954	0.962	7.404	1.75
13	100.962	100.962	7.386	0.962	14.433	16.677	13.846	2.144	1.255
14	113.846	113.846	21.232	13.846	14.808	28.279	9.558	8.805	0.366
15	90.442	90.442	11.674	9.558	4.288	5.25	8.053	4.23	4.973
16	91.947	91.947	3.621	8.053	17.611	3.765	16.512	11.486	5.239

17	106.512	116.512	20.133	16.512	8.459	1.099	6.46	0.398	5.478
18	96.46	106.46	26.593	6.46	22.972	14.919	7.256	4.987	11.965
19	82.744	92.744	19.338	7.256	0.795	15.716	17.229	21.575	18.945
20	107.229	117.229	36.566	17.229	9.973	16.433	25.921	19.803	12.15
21	115.921	125.921	62.487	25.921	43.149	35.894	13.685	5.264	11.257
22	103.685	113.685	76.172	13.685	39.606	56.835	3.157	10.043	14.645
23	86.843	96.843	73.016	3.157	10.529	36.449	23.242	23.546	17.436

### 3.5. Висновки

В даному розділі було розглянуто модифікацію CUSUM-карти, що дозволяє оперативно виявляти розладнання технологічного процесу. Проведений аналіз виявив, що, за певних обставин контроль за допомогою карт Шухарта не виявляє розладнання технологічного процесу. Проте, це може виконувати, і виконує, як показує експеримент, алгоритм з використанням CUSUM-карт. Окрім того, це, в майбутньому, можливо використати для оцінювання розладнання, чого майже неможливо досягнути, використовуючи графічний метод (метод V-маски). Сам алгоритм оцінювання розладнання технологічного процесу може стати складовою такого, більш глобального, явища, як адаптивний алгоритм.

#### **4 АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «UNICONTROL»**

##### **4.1. Опис ідеї статистичного оцінювання розладнання технологічного процесу**

Виробництвом займаються у всьому світі. Все, чим користуються люди, було колись виготовлено. На сьогоднішній день, саме виробництво є не досить складним завданням. Основними задачами є мінімальні витрати на виробництво з максимальним результатом. Як же забезпечити високу якість товарів, що випускає виробник?

Існує багато процесів, методик та технік перевірки якості товарів. Проте, чи можливо уберегти виробник від розладнання технологічного процесу?

Розладнання – процес, який за невідомих нам причин відхиляє виробництво у будь-яку сторону, що призводить до зміщення вихідних параметрів продукції. Простіше кажучи, це поступове відхилення параметрів продукції від допустимих.

Для забезпечення виявлення розладнання технологічного процесу, був розроблений алгоритм, що забезпечить раннє виявлення ознак розладнання та дозволить сигналізувати про це виробнику.

Ідея полягає у створенні, встановленні та подальшому обслуговуванні обладнання, що забезпечить раннє виявлення ознак розладнання та дозволить сигналізувати про це виробнику.

Спектр послуг:

- встановлення вимірювальних приладів
- встановлення системи оцінювання розладнання технологічного процесу
- технічне обслуговування вимірювальних приладів
- обслуговування системи оцінювання розладнання технологічного процесу
- встановлення та корекція граничних меж за вимогою замовника
- за необхідності, встановлення програмного забезпечення інших виробників

У таблиці 4.1 приведено зміст ідеї, вказані вигода для користувача та перераховано спектр послуг.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Основна ідея полягає у створенні підприємства, яке буде займатися розробкою, а згодом впровадженням та обслуговуванням програмного забезпечення. Окрім того, підприємство буде постачати устаткування, для великих та малопотужних виробництв, з вбудованим алгоритмом оцінювання розладнання статистичного процесу.	Встановлення вимірювальних приладів.	У будь-якому з випадків, замовник буде отримувати весь комплект послуг за умови встановлення нашого устаткування. Це в першу чергу вигідніше та оперативніше, ніж замовлення цих послуг у різних виконавців. Основа ж перевага у тому, що алгоритм, який лежить в основі цього програмного забезпечення, швидший за відомі методи на 25%.
	Встановлення системи оцінювання розладнання технологічного процесу.	
	Обслуговування системи оцінювання розладнання технологічного процесу.	
	Встановлення та корекція граничних меж за вимогою замовника.	

Для того, щоб краще ознайомитися з основними задачами які вирішує проект, де використовується та який час необхідний для його здійснення, в таблиці 4.2. представлено інформаційну картку проекту.

Таблиця 4.2. Інформаційна картка проекту

Назва проекту	UniControl
Автор проекту	Антіфєєв Тимофій Ілліч
Коротка анотація	Система статистичного оцінювання розладнання технологічного процесу дозволяє визначати відхилення від норми під час виробничого процесу на будь-якому етапі. Проста у використанні, легка у конфігурації. Поставляється у вигляді друкованої плати невеликого розміру з фіксованою кількістю входів та виходів. Дозволяє виявляти розладнання на 25%* відсотків швидше за свої аналоги.
Термін реалізації проекту	6 місяців
Необхідні ресурси	Фінансові: придбання комплектуючих,

	обладнання, витратні матеріали (пайка і т.д.). Оренда промислової (виробничої) та офісної площі, заробітна плата працівникам. Інтелектуальні: патентування методу та виробу, промисловий дизайн, маркетингова стратегія, реклама.
Опис проблеми, яку вирішує	Вирішує гостру проблему в необхідності якісного контролю на виробництві, як великому, так і малопотужному, що дозволяє виявити недоліки на виробничій лінії швидше.

Отже, підприємство може надавати доступ до програмного забезпечення, що виявляє розладнання на 25% швидше а ніж широкоживані методи.

Наступним кроком є проведення аналізу техніко-економічних переваг ідеї порівняно з конкурентами:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей ідеї
- визначаємо коло конкурентів, що вже існують на ринку та проводимо збір інформації щодо показників для ідеї власного проекту та проектів конкурентів відповідно до визначеного вище переліку
- проводимо порівняльний аналіз показників для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні), наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Визначення сильних та слабких, а також нейтральних властивостей ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характери- стики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W слабка сторона	N нейтра- льна сторона	S сильна сторона
		«UniControl»	Компанія "УКРІНТЕХ"	Компанія "ОВЕН"			
1.	Спектр послуг	8	10	5	-	+	-
2.	Вартість послуг	90%	110%	105%	-	-	+
3.	Ефективні- сть	95%	-	-	-	-	+

	контролю						
4.	Торгова марка	Назва та знак не достатньо сформовані для ідентифікації продукції	Знак не дає можливості ідентифікувати продукцію	Назва та знак дозволяють ідентифікувати продукцію	-	+	-

Висновок: переваги підприємства UniControl відображаються в наступних властивостях: спектр та вартість послуг, а також ефективність контролю, який отримують клієнти у вигляді кінцевого продукту. Назва та знак недостатньо сформовані для ідентифікації продукції, не є репрезентативними на даному етапі та потребують доопрацювання.

#### 4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.4. Технологічна здійсненність проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Алгоритм для статистичного оцінювання розкладання технологічного процесу	Мова програмування Python для попереднього аналізу та відладки роботи алгоритму	+	+
		Мова програмування C зручна для виконання сучасними технологіями автоматизації	+	+
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Перша технологія				

Висновок: За результатами аналізу технологічності здійснення ідеї проекту, можемо зробити висновок, що реалізація проекту можлива, проте, необхідно визначитися, яку мову програмування обрати. Так як основною ціллю роботи алгоритму є швидке реагування на зміни вхідних даних, вигідно використовувати мову програмування C, як більш швидкодіючу. Проте,



провівши додатковий аналіз в мережі Інтернет, було виявлено, що мова програмування Python, при частому повторенні одного й того самого коду, може трансформувати його у С-подібний код, що буде значно пришвидшувати його і, загалом, давати той самий результат у швидкодії на ділянках повторюваного коду. Так як код не має великих розгалужень та громістких підпрограм було вирішено, що для зручної відладки та аналізу алгоритму, а також її наступного впровадження обрано мову програмування Python.

#### 4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.

На цьому етапі ми будемо визначати ринкові можливості, які можна використати під час впровадження проекту на ринку, а також загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.5).

Таблиця 4.5. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум. од	100000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Майже відсутня
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відповідають
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	75%

Висновок: на даний момент ринок насичений потенційними клієнтами великі конкурентні фірми відсутні, отже головна задача поставити виробництво продукції і вийти на ринок продажу.

Таблиця 4.6. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
-------	--------------------------	--------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------	-----------------------------

1.	Базова потреба, яка задовольняється це необхідність в скороченні витрат на брак, на контроль якості	Великі та малі виробничі підприємства. Науково-дослідні лабораторії. Університети.	Головною перевагою є те, що замовник буде отримувати весь комплект послуг за умови встановлення нашого устаткування.	Більш ефективний, а отже вигідний спосіб контролю за якістю продукції.
----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------

Висновок: на ринку на даний момент існує необхідність забезпечення контролю якості більше ефективними способами для зменшення витрат виробництв, як великих так і малих на відбракування так і на самий контроль якості. Окрім того, є можливість забезпечення відповідним засобом науково-дослідні лабораторії.

Таблиця 4.7. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Підприємство невелике і нове	Малий ринок послуг	Реклама, реклама у інтернеті
2.	Підприємство невелике і нове	Можливість бути витісненим при появі «великого гравця»	Ефективність та новизна продукції
3.	Фінансовий	Недостатньо коштів	Пошук нових інвесторів

Висновок: Найбільш впливовими є те, що підприємство є новим і невідомим для потенційного клієнта. Необхідно швидко і вдало реагувати на будь-яку з проблем.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.8).

Таблиця 4.8. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Нові технології	Доступна та якісна продукція	Новизна
2.	Можливість інтеграції та модифікації з іншими технологіями	Можливість заключити нові договори з підприємствами	Нові технології, модифікація існуючих
3.	Залучення нових кваліфікованих	Індивідуальних підхід до кожного	Висока якість

	людей до роботи	клієнта	
--	-----------------	---------	--

Висновок: Головними перевагами або можливостями, які виникають у такого підприємства це залучення нових технологій, кадрів, та модифікація існуючого обладнання для задоволення специфічних проблем деяких клієнтів.

Таблиця 4.9. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції - олігополія	Стратегія ринку буде розроблятися відповідно до потреб покупців, як загальних так і вузько-спеціалізованих.	Підвищена якість товару за прийнятну ціну
2. За рівнем конкурентної боротьби - локальний, національний	Конкурентів можна розглядати як на рівні одного міста, так само країни, так і в рамках сусідніх держав.	Розширення підприємства, поява філіалів у нових містах, більше охоплення потенційних клієнтів.
3. За галузевою ознакою - міжгалузева	Стосується всіх галузей, в яких застосовується контроль продукції на будь-якому етапі.	Індивідуальний підхід до обслуговування кожного клієнта, підвищення якості продукту.
4. За характером конкурентних переваг - нецінова	Надходження на ринок продукції вищої якості за прийнятними цінами.	Підвищення якості контролю на підприємствах.
За інтенсивністю - немарочна	Незначна роль торгової марки.	Накопичення постійних клієнтів, підвищення якості наданих послуг.

Висновок: Отже, завдяки тому, що на ринку присутня мала кількість конкурентів, ми маємо можливість диктувати цінову політику у випадку кількісної переваги над конкурентами, зберігаючи високу якість товару та індивідуальний підхід до кожного з клієнтів не зважаючи на те, де вони знаходяться – в іншій країні або на іншій вулиці.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі. Підприємству необхідна розробка успішної стратегії, яка допоможе закріпити успішні позиції на ринку. Та забезпечить перевагами над конкурентами.

Таблиця 4.10. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Компанія "УКРІНТЕХ"	Невеликі фірми та підприємства, які працюють локально, проте мають потенціал виходу на великий ринок надання послуг.	Невеликий вплив постачальників на якість товару, проте, від якостей компонентів залежить якість самої системи, приблизно на 15%	До факторів сили споживачів відносять: розмір закупівель; змінні витрати; систему інформації; рівень чутливості до цін, прибутки, контроль якості тощо.	Вигідніші варіанти надання послуг у комплекті, за прийнятну ціну.
Висновки:	Інтенсивність з боку конкурентної боротьби є досить значною, адже компанія займається саме інноваційним напрямком у технологіях, можна розглядати як не марочну.	Є велика можливість виходу на ринок; потенційні конкуренти присутні в невеликій кількості.	Необхідно мати декілька каналів постачальників, щоб уникнути проблем монополії.	Необхідно залучувати усі можливі засоби на розвинення маркетингових програм та каналів збуту товару.	Цей фактор є найменш впливовим адже компанія виходить на ринок з новими технологіями які вже мають вищу якість та нижчу ціну.

Висновок: для того щоб закріпитися на ринку та отримати певний статус серед конкурентів та потенційних покупців потрібно нарощувати постійних клієнтів, які б зверталися регулярно, розвивати маркетингову кампанію та використовувати різні канали постачання необхідних компонентів.

Загалом, за звертаючи увагу на усі попередні етапи аналізу можна прийти до висновку, що для того, щоб бути конкурентоспроможними на ринку, необхідно швидко і правильно реагувати на будь-які загрози підприємству з боку конкурентів та самого ринку. Вдало використовувати свої сильні сторони та можливості: продовжувати впровадження нових технологій, створювати колаборації з іншими компаніями або підприємствами для отримання певного статусу в індустрії а також залучати нові кадри для надання якісної та кваліфікованої підтримки майбутнім клієнтам.

На основі вищесказаного можна перейти до аналізу та обґрунтування факторів конкурентоспроможності. Необхідно пам'ятати, що підприємство пропонує високу якість за прийнятну ціну, надає кваліфіковану, комплексну допомогу клієнту, готове до розширення як в межах країни, та і до суміжних країн. Пропонує якісні послуги з контролю, який постійно оновлюється, доповнюється та модифікується.

Таблиця 4.11. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Ціна товару	За рахунок простоти кінцевого продукту, ціна буде невелика.
2	Якість товару	Якість товару на високому рівні забезпечується внутрішнім алгоритмом, що і є ключовим у цьому проекті.
3	Індивідуальний підхід	Забезпечення індивідуального підходу до клієнтів дозволить працювати з ними на постійній основі, і вони не підуть до іншого підприємства просто так.
4	Інформаційне забезпечення	Інформаційне забезпечення дозволить оперативно повідомляти клієнтам про нові постачання, оновлення та іншу важливу інформацію.
5	Політичний стан у країні	Впливає на можливість розширення

.	підприємства в регіонах, на співпрацю з іншими галузями
---	---------------------------------------------------------

Таблиця 4.12. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «UniControl»

п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з UniControl					
			-3	-2	-1	0	+1	+2
1	Наявність патентів	16					+	
2	Ціна товару	19		+				
3	Висока якість	18	+					
4	Індивідуальний підхід	15				+		
5	Інформаційне забезпечення	13				+		

З таблиць 4.11 та 4.12 можна сказати, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для статистичного оцінювання розладнання технологічного процесу. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання клієнтами.

Таблиця 4.13. SWOT- аналіз стартап-проекту UniControl

<b>Сильні сторони:</b> 1. Ціна послуг та продукції. 2. Якість товару. 3. Комплекс надання обслуговування. 4. Індивідуальний підхід до кожного клієнта.	<b>Слабкі сторони:</b> 1. Підприємство нове, мале та невідоме. 2. Відсутність достатньої кількості фінансування. 3. Відсутність довіри до підприємства у існуючих клієнтів.
<b>Можливості:</b> 1. Доступна та якісна продукція. 2. Можливість заключити нові договори з підприємствами. 3. Індивідуальних підхід до кожного клієнта.	<b>Загрози:</b> 1. Малий ринок послуг. 2. Можливість бути витісненим при появі «великого гравця». 3. Недостатньо коштів.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (табл. 4.14\0, аналіз потенційних конкурентів).

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.14).

Таблиця 4.14. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Введення системи знижок для постійних клієнтів	Висока	2 міс.
2	Вкладення більшого відсотку прибутку в розробку нових алгоритмів та розширення ринку	Середня	1 рік.

З зазначених альтернатив обираємо стратегію введення системи знижок для постійних клієнтів а також заохочувальні пропозиції дозволять як зберегти клієнтів так і привернути увагу нових. Це є більш дешевим, простим та швидким варіантом збереження позицій на ринку.

#### 4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.15. Вибір цільових груп потенційних споживачів

п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Великі промислові виробництва	Майже на кожному етапі виготовлення продукції є необхідність контролю вихідної продукції чи напівфабрикату	Попит надзвичайно великий	Конкуренція не інтенсивна	Вхід до сегменту є досить простим, адже на даний момент на ринку немає великих гравців які представляють загрозу.
	Малі промислові виробництва			Конкуренція не інтенсивна	
Які цільові групи обрано: Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із малими промисловими виробництвами.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали в якості цільової групи малі промислові виробництва. Вони є більш вибагливими до якості контролю на попередніх етапах, на відміну від великих підприємств, адже кількість товару менша, а отже за якістю необхідно слідкувати краще.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Стратегія спеціалізації. Концентрація на потребах одного цільового сегменту	Відповідати цільовим потребам ринку краще ніж конкуренти. Диференційований маркетинг	Однією з найважливіших позицій є виготовлення продукції за прийнятною ціною та якістю її на вищому рівні	Стратегія спеціалізації.

Висновок: Для даного підприємства була обрана стратегія яка є найбільш вдалою в даному випадку, це стратегія базового розвитку – стратегія спеціалізації. Передбачає концентрацію на потребах одного цільового сегменту, без прагнення охопити увесь ринок. Мета тут полягає в задоволенні потреб вибраного цільового сегменту краще, ніж конкуренти.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.17).

Таблиця 4.17. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Компанія буде охоплювати сегмент нових клієнтів, та	Так, компанія буде копіювати методику збору компонентів	Стратегія наслідування лідера



		надаватиме потреби існуючим за необхідності.	власного виробництва	
--	--	----------------------------------------------	----------------------	--

Висновок: Стратегія наслідування лідеру є прийнятною тому що підприємство є невеликим та з обмеженою кількістю коштів і не буде здатна до розширення певний час. Стратегія наслідування лідеру найчастіше має місце у випадку олігополії, коли підприємство прагне уникнути боротьби, У подальшому стратегія компанії буде мінятися.

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 4.18. Визначення стратегії позиціонування

п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Висока якість товару. Поступове покращення характеристик товару.	Стратегія спеціалізації.	Вища якість ніж у конкурентів, за прийнятну ціну з додатковим пакетом послуг.	Якість. Ціна. Індивідуальний підхід. Підтримка клієнтів.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (UniControl) та до продукту (табл. 4.6), а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку (табл. 4.16) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.17) розробляється стратегія позиціонування (табл. 4.18). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект. Обраною стратегією позиціонування є:

- на основі специфічних відчутних характеристик
- позиціювання на сервісному обслуговуванні.

#### 4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.19 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.19. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Необхідність в обладнанні для контролю якості на етапах виробництва	Ефективний алгоритм, який забезпечує виявлення розладнання технологічного процесу на ранніх кроках	Якісна продукція, яка працює ефективніше, за привабливою ціною.

Висновок: Клієнти хочуть бачити продукцію, яка допоможе їм ефективніше (в даному випадку, швидше, на ранніх стадіях) виявити розладнання власного технологічного процесу та допоможе уникнути значних втрат на відбракуванні.

Таблиця 4.20. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Алгоритм для контролю технологічного процесу		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Ціна	М	Е
	2. Якість	Нм	Тх
	3. Ефективність	Нм	Тх
	4. Простота	Нм	Тл
	5. Підтримка	Нм	Ор
III. Товар із підкріпленням	Якість: відповідає нормам ДСТУ		
	Пакування: продукція виготовляється на підприємстві виробника, та доставляється замовнику.		
	Марка: UniControl		
	До продажу: пакет гарантій, та початкового випробування продукту		
	Після продажу: підтримка обладнання в робочому стані протягом строку гарантії з заміною деталей. Підтримка та модифікації продукту		

	за заявою клієнта. Підтримка клієнта доки він користується продукцією.
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патент на метод	

Висновок: Кінцевим продуктом має стати обладнання, на якому встановлено програмне забезпечення, розроблене підприємством у вигляді алгоритму, яке поставляється замовнику з гарантією, випробним терміном, постійною підтримкою. Відповідає нормам ДСТУ. Має відповідні маркування.

Перед тим як перейти до планування роздрібної ціни товару, необхідно зазначити основні витрати проекту, станом на початок основної діяльності (в 0-й рік реалізації проекту) за таблицею 4.21, приведеною нижче.

Таблиця 4.21. Загальні початкові витрати проекту

№ з/п	Стаття витрат	Обсяги витрат в 0-й рік, тис. грн.
1.	Проведення НДДКР	20
2.	Розробка проектних матеріалів і ТЕО	5
3.	Робоче проектування і прив'язка проекту	-
4.	Витрати на придбання обладнання та устаткування та пристроїв	8,3
5.	Витрати на придбання нематеріальних активів	10
6.	Одноразові виплати, зокрема гарантуючим і страховим організаціям	6,3
7.	Витрати на перед виробничі маркетингові дослідження і створення збутової мережі	16
8.	Витрати, пов'язані з діяльністю команди	213
9.		
	<b>Разом</b>	<b>278,6</b>

Варто визначити та зазначити обсяг поточних загальногосподарських витрат, необхідний для реалізації проекту. Ці дані приведені у таблиці 4.22.

Таблиця 4.22. Планові загальногосподарські витрати

№ з/п	Стаття витрат	Витрати за період, тис. грн.		
		1-й рік	2-й рік	3-й рік
1.	Витрати на обладнання, устаткування та пристрої	25,8	-	-
2.	Витрати на придбання нематеріальних активів	14	-	-
3.	Витрати на персонал (на відрядження, соціальні заходи тощо)	213	213	230
4.	Витрати на збут	-	-	-
5.	Витрати на просування та рекламу	10	12	15

6.	Оплата юридичних послуг	5	-	-
<b>Разом:</b>		<b>267,8</b>	<b>225</b>	<b>245</b>

Визначивши, якими будуть основними витрати, наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.23).

Таблиця 4.23. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	5000-10000 грн	5000-8000 грн	Не можливо визначити	3000-7000 грн/од.

Висновок: У таблицях 4.21 та 4.22 було проаналізовано та визначено приблизні загальні витрати проекту у 0-й рік реалізації, а також загальногосподарські витрати на перший, другий, третій роки відповідно. Взявши цю інформацію за основу, у таблиці 4.23 було проведене порівняння цін з іншими схожими товарами на ринку, а також визначено верхню та нижню межу можливого встановлення ціни на товар. Ціновий діапазон не є широким, а обладнання знаходиться в схожих межах що і ціни на товари-замінники та товари-аналоги. Рівень доходів цільової споживчої групи дізнатися неможливо.

Таблиця 4.24. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	В залежності від того, яке підприємство (велике чи мале) чи науково-дослідна лабораторія	Організація руху товару, зберігання, сортування, встановлення контакту з споживачами, інформування, транспортування	Канал нульового рівня (канал прямого маркетингу)	Власна (на рівні підприємства)

Висновок: В якості каналу збуту, підприємство буде працювати як нульовий канал, а саме посилкова торгівля або торгівля в роздріб. В майбутньому підприємство перейде до власної системи збуду що буде залучати торговельних агентів, які будуть збувати товар.

Таблиця 4.25. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Необхідність у обладнанні для контролю якості виробництва. Отримання послуг підтримки.	Інтернет	Якість Ціна Індивідуальний підхід	Показати переваги та ефективність даного товару у порівнянні з іншими схожими.	інтернет-оголошення таргетована на малі підприємства. Розповсюдження рекламних листівок на заходах спрямованих на виробництво.

Висновок: Було обрано два основних шляхи розповсюдження реклами підприємства – це інтернет, а також розповсюдження рекламних листівок які вказують на переваги та ефективність даного товару у порівнянні з іншими схожими, на заходах, виставках і т.д, які спрямовані на виробників як великих, так і малих.

#### 4.6. Висновки

В даному розділі було розроблено стартап-проект з впровадження алгоритму для статистичного оцінювання розладнання технологічного процесу. Так як продаж за ліцензійним договором виключно програмного забезпечення є не достатньо прибутковим на сьогоднішній день, було прийнято рішення створити підприємство на базі ФОП, яке буде займатися виготовленням кінцевого обладнання з програмним забезпеченням, а також постійною підтримкою клієнтів.

У цьому розділі було проведено аналіз таких складових проекту як ідея проекту, в тому числі визначення сильних та слабких характеристик проекту, проведено технологічний аудит проекту. Виконано аналіз ринкових

можливостей запуску стартап-проекту, де досліджено основні фактори загроз та можливостей, порівняні сильні та слабкі сторони проекту «UniControl», зроблений SWOT-аналіз. Окрім того, розроблена ринкова стратегія проекту з вибором цільових груп потенційних споживачів, визначення базової та подальшої стратегій розвитку, стратегії позиціонування. Розроблена маркетингова програма стартап-проекту, де описані три основні рівні моделі товару, сформована система збуту та концепція маркетингових комунікацій. Визначена система ціноутворення та зазначені загальні початкові витрати проекту та планові загальногосподарські витрати.

## 5 ВИСНОВКИ

Магістерська дисертація за темою статистичне оцінювання розладнання технологічного процесу була поділена на 4 основних розділи: Огляд існуючих рішень, особливості контрольних карт накопичуваних сум (CUSUM-карт) та їх застосування, особливості принципу роботи алгоритму статистичного оцінювання розладнання технологічного процесу, аналіз та розробка стартап-проекту на основі цього алгоритму. Зроблені відповідні висновки.

В першому розділі було наведено основні принципи статистичного оцінювання розладнання, якими користуються для контролю. Зокрема, розглянули принцип визначення середнього значення, та ковшного середнього; знайшли та розібрали СКВ середнього; визначили основні положення методу контрольних карт Шухарта; від них перейшли до контрольних карт кумулятивних сум (CUSUM-карт). В кінці кожного з підпунктів цього розділу наведено основні недоліки або переваги визначених методів. Загальні висновки наведені в кінці першого розділу.

Другий розділ акцентований на обраному методі, визначеному в попередньому розділі – методі кумулятивних карт. Введені загальні положення, критерії прийняття рішень за допомогою кумулятивних карт. Визначені передумови побудови кумулятивних карт. Окрім цього, наведений приклад відомого застосування кумулятивних карт – графічний метод V-маски. В кінці другого розділу наведені висновки, що вказують на недостатню можливість автоматизації цього методу, в свою чергу переводячи до третього розділу.

В третьому розділі було розглянуто модифікацію CUSUM-карти, що дозволяє оперативно виявляти розладнання технологічного процесу. Окрім того, це, в майбутньому, можливо використати для оцінювання розладнання, чого майже неможливо досягнути, використовуючи графічний метод (метод V-маски). Проведений аналіз з прикладами показав, що там, де не виявляє розладнання метод карт Шухарта, його виявляє метод кумулятивних карт, а сам алгоритм оцінювання розладнання технологічного процесу може стати складовою такого, більш глобального, явища, як адаптивний алгоритм.

Допускалося, що випадкові відхилення технологічного процесу які є в отриманих даних мають нормальний закон розподілу.

Четвертим розділом стали аналіз та розробка стартап-проекту, в основу яких покладений алгоритм статистичного оцінювання розкладання технологічного процесу, у формі програмного забезпечення, яке дистрибутує підприємство «UniControl». Так як продаж за ліцензійним договором виключно програмного забезпечення є не достатньо прибутковим на сьогоднішній день, було прийнято рішення створити підприємство на базі ФОП, яке буде займатися виготовленням кінцевого обладнання з програмним забезпеченням, а також постійною підтримкою клієнтів.

У цьому розділі було проведено аналіз таких складових проекту як ідея проекту, в тому числі визначення сильних та слабких характеристик проекту, проведено технологічний аудит проекту. Виконано аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту, де досліджено основні фактори загроз та можливостей, порівняні сильні та слабкі сторони проекту «UniControl», зроблений SWOT-аналіз. Окрім того, розроблена ринкова стратегія проекту з вибором цільових груп потенційних споживачів, визначення базової та подальшої стратегій розвитку, стратегії позиціонування. Розроблена маркетингова програма стартап-проекту, де описані три основні рівні моделі товару, сформована система збуту та концепція маркетингових комунікацій. Визначена система ціноутворення та зазначені загальні початкові витрати проекту та планові загальногосподарські витрати.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологічні процеси виробництва [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://pidruchniki.com/1016052052904/turizm/tehnologichni\\_protsesti\\_virobnitstva\\_produktsiyi\\_restorannogo\\_gospodarstva](https://pidruchniki.com/1016052052904/turizm/tehnologichni_protsesti_virobnitstva_produktsiyi_restorannogo_gospodarstva).
2. Технологічний процес [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Технологічний\\_процес](https://uk.wikipedia.org/wiki/Технологічний_процес).
3. Якість продукції [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Якість\\_продукції](https://uk.wikipedia.org/wiki/Якість_продукції).
4. Quality [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Quality\\_\(business\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Quality_(business)).
5. Середнє значення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Середнє\\_арифметичне](https://uk.wikipedia.org/wiki/Середнє_арифметичне).
6. Стандартне відхилення [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Стандартне\\_відхилення](https://uk.wikipedia.org/wiki/Стандартне_відхилення).
7. Standart deviation [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: 7. [https://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_deviation](https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_deviation).
8. Контрольна карта [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Контрольна\\_карта](https://uk.wikipedia.org/wiki/Контрольна_карта).
9. Control chart [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Control\\_chart](https://en.wikipedia.org/wiki/Control_chart).
10. Джерж. стандарт "Карти накопичених сум" [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://aquagroup.ru/normdocs/11152>.
11. Стандарт ISO [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: ISO 7870-4:2011 "Control charts - Part 4: Cumulative sum charts".
12. Мердок Дж. Контрольные карты / Дж. Мердок.— М.: Финансы и статистика, 1986. – 150 с.
13. Монтгомери, Д. С. Введение в статистический контроль качества.— 6-е издание.— Рио-де-Жанейро: LTC, 2009.

14. Шишкин Б.В. Контрольные карты // Международный журнал экспериментального образования. – 2016. – № 6-1. – С. 129-130.
15. Е. Володарский. ОСОБЛИВОСТІ, МОЖЛИВОСТІ ТА ЗАСТОСУВАННЯ КОНТРОЛЬНИХ КАРТ НАКОПИЧУВАЛЬНИХ СУМЬО ЧАСТИНА 1. МЕТОД ГРАФІЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ РОЗЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ / Е. Володарский, Л. Кошечая, И. Потоцкий. // Метрологія та прилодобудування. – 2019. – №1.
16. Gatti, P.L.: Probability Theory and Mathematical Statistics for Engineers. Taylor & Francis, (2004).
17. Jonhson N., Leone F., Statistics and Experimental Design in Engineering and the Physical Sciences, vol. 1, 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 1977.

## ДОДАТОК А. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ

XV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та  
молодих вчених

«ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕНЬ У ПРИЛАДОБУДУВАННІ»,  
10-11 грудня 2019 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

### СЕКЦІЯ 11. АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Т.І. Антіфєєв, студент гр. ВА-81мп, Є.Т. Володарський д.т.н, професор СТАТИСТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ РОЗЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....	492
Войтюк А.К., студент гр. ВА-81мп, д.т.н., доц. Шевченко К.Л. ІМІТАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ОПІКОВИХ УРАЖЕНЬ .....	495
Ю.В. Іванченко, студент гр. ВА-81мп, к.т.н., доц. Стаценко О.В. ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ШУМУ В ПРИМІЩЕНІ .....	498
Є.О. Кириленко, студент гр. ВМ-61-2, д.т.н., доц. Шевченко К. Л. ВДОСКОНАЛЕННЯ ОПТИЧНИХ ВИМІРЮВАЧІВ ПИЛУ У ПОВІТРІ .....	502
В.В Куліченко, студент гр. ПА-81, к.т.н., доц. Ю.С. Шумков АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛІВ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНИМИ СПЛАЙНАМИ.....	506
С.А. Левицький, аспірант, д.т.н., проф. Шевченко К.Л. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГРУДНОЇ КЛІТКИ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ПАРАМЕТРІВ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ГЕМОДИНАМІКИ ЗА ЗМІНОЮ БІОІМПЕДАНСУ	510
К.М. Мостепан, студент гр. ВМ-61-2, д.т.н., доц. Шевченко К.Л. ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИННО-СТРУЖКОВОЇ ПЛИТИ НВЧ РЕЗОНАНСНИМ МЕТОДОМ .....	514
К.Д. Ніколаєва, студентка гр. ВА-81мп, д.т.н., доц. Шевченко К.Л. ТЕРМОМЕТРИЧНА СИСТЕМА ОЦІНКИ ОПІКОВИХ УРАЖЕНЬ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ .....	518

УДК 681.5

## СТАТИСТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ РОЗЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Т.І. Антіфєєв, Є.Т. Володарський

КПІ ім. Ігоря Сікорського

Email: [tima.antifeev@gmail.com](mailto:tima.antifeev@gmail.com), [vet-1@ukr.net](mailto:vet-1@ukr.net)

Виробництвом займаються у всьому світі. Все, чим користуються люди, було колись виготовлено. На сьогоднішній день, саме виробництво є не досить складним завданням. Основними задачами є мінімальні витрати на виробництво з максимальним результатом. Як же забезпечити високу якість товарів, що випускає виробник?

Існує багато процесів, методик та технік перевірки якості товарів. Проте, чи можливо уберегти виробник від розладнання технологічного процесу?

Розладнання – процес, який за невідомих нам причин відхиляє виробництво у будь-яку сторону, що призводить до зміщення вихідних параметрів продукції. Це поступове відхилення параметрів продукції від допустимих.

### МАТЕРІАЛИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Контроль ґрунтується, як правило, на результатах вимірювань властивості, в якій зацікавлений виробник. Продукт відповідає заданим вимогам, якщо значення його параметра знаходиться в межах допустимих границь. Допустимою границею в даному випадку є інтервал в межах якого продукт вважається прийнятним. Через невизначеність вимірювання, яка буде існувати завжди, адже неможливо виготовити такий прилад, можливе прийняття помилкових рішень[1].

Для того, щоб зменшити вплив випадкових величин на прийняття помилкового рішення, одним з найпоширеніших варіантів було обрано усереднення  $m$  результатів спостережень. Проте, цей вибір виявився очевидно невірним адже такий алгоритм викликає суттєве збільшення обсягу вибірки (замість 100 значень, ми отримаємо, наприклад, лише 20) це призводить до збільшення собівартості контролю[2].

Далі було розглянуто не менш широковживаний метод – метод застосування карт Шухарта. Для карти Шухарта потрібні вибіркові дані процесу, одержані через приблизно рівні інтервали. Інтервали можна обирати за часом, наприклад, по годинно, або за кількістю продукції (кожна партія). Як правило, кожна підгрупа складається з однотипних одиниць продукції з тими самими контрольованими показниками і всі підгрупи мають рівний обсяг. Для кожної підгрупи визначають одну чи кілька характеристик, такі як середнє арифметичне підгрупи та розмах підгрупи або вибіркове стандартне відхилення[3].

Під час використання контрольних карт Шухарта важливо брати до уваги один з важливих параметрів самої карти – так звана чутливість контрольних

карт. Чутливість характеризує зміну параметрів розподілу результатів від зміни вхідних даних, що характеризують умови застосування контрольних карт. За чутливістю до розладнання контрольні карти поділяються[4]:

- прості контрольні карти (карти Шухарта)
- контрольні карти з попереджувальними межами
- контрольні карти кумулятивних сум,

Основним недоліком контрольних карт Шухарта є велика часова затримка між моментами, коли виникло розладнання технологічного процесу і це було відображено на карті.

Контрольні карти кумулятивних сум— це контрольні карти, що враховують, поряд з поточним значенням контролюваного параметра, також і результати контролю усіх попередніх вибірок, тобто вони є контрольними картами з пам'яттю. Такі контрольні карти виявляються більш чутливими до розладнання процесу, тобто вже на самому початку зсуву рівня процесу або зміни його розсіювання дозволяють виявити порушення ходу процесу і своєчасно втрутитися в процес. На практиці знаходять застосування карти кумулятивних сум як з межами регулювання, так і з використанням V-маски. Причому карти кумулятивних сум з межами регулювання дозволяють виявляти розладнання процесу[5]. Затримка в них менша, але для деяких виробництв, продукція яких пов'язана з життям та здоров'ям людини, вона все ж таки є суттєвою.

Виходячи з цього, було запропоновано алгоритм, який дозволяє виявляти розладнання технологічного процесу на більш ранніх стадіях.

Як видно з Рис.1, починаючи з 11 кроку починається розладнання технологічного процесу (червона лінія). Основним завданням є виявлення цього розладнання як можна раніше.

Для цього було вирішено брати у якості інформативної величини тангенс кута нахилу прямої, яка з'єднує поточну і попередню контрольні точки на карті кумулятивних сум, і порівнювати його з опорним значенням. Опорне значення, яке є границею можливих змін у процес, обумовлених впливом випадкових величин, знаходиться як:

$$\operatorname{tg}\Theta = \frac{\delta\sigma_0}{2} = \frac{\Delta}{2} \quad (1)$$

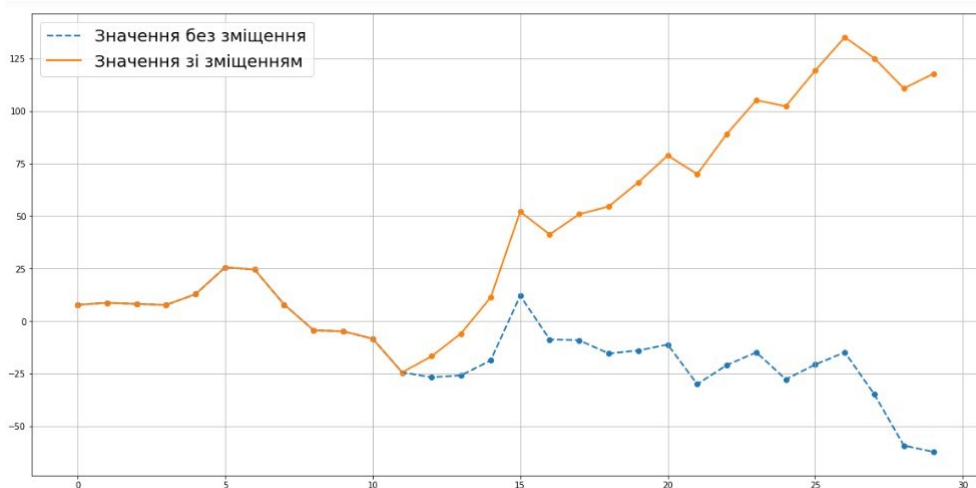


Рисунок 1. Порівняння поведінки карти кумулятивних сум

Було виведено ряд гіпотез щодо того, які значення приймаються як сигнали до розладнання, а які є лише випадковістю. Необхідно було визначити, починаючи з якого кроку алгоритм прийматиме рішення про те, що наступило розладнання технологічного процесу. Для підтвердження обраної гіпотези було проведено ряд експериментів, під час яких було доказано, що з статистичною достовірністю гіпотеза є вірною.

## ВИСНОВКИ

Запропоновано модифікацію CUSUM-карти, що дозволяє оперативно виявляти розладнання технологічного процесу. Це, крім того, надає можливість для автоматизації оцінювання розладнання, чого практично не можна досягнути, використовуючи графічний метод з застосуванням V-маски. Допускалося, що випадкові відхилення технологічного процесу мають нормальний закон розподілу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3514-97 Державний стандарт України. Статистичні методи контролю та регулювання. Терміни та визначення. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://metrology.com.ua/ntd/skachat-dstu-gost-gost-r/dstu/dstu-3514-97/>
2. Клівцова, М.О. : автореферат Методи забезпечення якості продукції на малопотужному кондитерському підприємстві. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27388/1/Klievtsova\\_aref.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/27388/1/Klievtsova_aref.pdf)
3. Статистичний контроль. Контрольні карти Шухарта: (ISO 8258:1991/Cor.1:1993, IDT): ДСТУ ISO 8258-2001. – [чинний від 2003-07-01]. – Держспоживстандарт України, 2003. – 57 с
4. Контрольні карти Шухарта у випробувальних лабораторіях – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.euroacademia.com.ua/data/site/Контрольні%20карти%20Шухарта.pdf>
5. Контрольные карты кумулятивных сумм – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/4520598/page:27/>

*Наук. керівник – д.т.н., проф. Володарський Є.Т.*